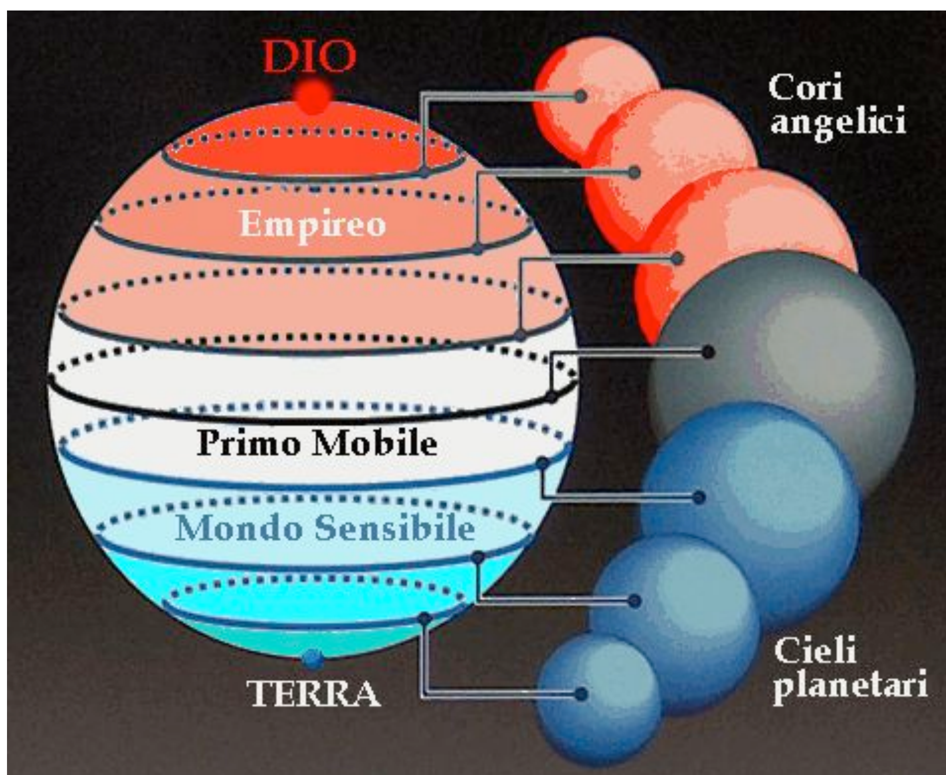
Vincenzo Pappalardo

LA DIVINA COMMEDIA
tra
FISICA, MATEMATICA, ASTRONOMIA



… parendo inchiuso da quel ch'elli 'nchiude

Vincenzo Pappalardo

LA DIVINA COMMEDIA
TRA FISICA, MATEMATICA, ASTRONOMIA

Prima edizione febbraio 2012
Edizione riveduta e aggiornata maggio 2014

Ai miei tre angeli terrestri:
Gina, Raffaella
e Pietro

Indice

Prefazione

La poesia e la scienza sono entrambe creazioni dello spirito che creano nuovi modi di pensare il mondo, per farcelo meglio capire. La scienza e la poesia sono entrambe visionarie, e talvolta possono arrivare alle stesse intuizioni. Quindi, se l'immaginazione e la fantasia sono gli ingredienti principali che stanno alla base della creatività matematica, non deve meravigliare se Dante ha intuito per il Paradiso uno spazio geometrico curvo che ubbidisce ad una geometria che verrà sviluppata solo nel XIX secolo. E se le idee della matematica o della fisica, così come tutte le nostre idee, hanno le loro radici nelle esperienze e nelle osservazioni della realtà che viviamo, non dobbiamo rimanere stupiti dal fatto che tutta la Divina Commedia appare impostata sul tema del vedere: si parte da una "selva oscura" e si viaggia attraverso un progressivo manifestarsi della luce. Proprio per il largo spazio dedicato al tema del vedere Dante appare come un vero e proprio scienziato, il cui compito non può prescindere dall'osservazione; e come ogni scienziato, il suo primo dovere è quello di liberarsi dai preconcetti, dagli inganni di una falsa immaginazione che ci toglie la possibilità di vedere davvero quello che c'è:

"... Tu stesso ti fai grosso
col falso immaginar, sì che non vedi
ciò che vedresti se l'avessi scosso"
(Par. I. 88-90)

Se consideriamo la poesia, e la letteratura in generale, come un ampliamento della realtà, come la possibilità di sperimentare, seppure nell'immaginazione, realtà diverse, allora questo allargamento di orizzonti potrebbe anche essere un allargamento, una moltiplicazione, dell'insieme di esperienze e di situazioni in cui le idee matematiche e fisiche affondano le loro radici.

In verità, la separazione fra le due culture, quella umanistica e scientifica, è un fatto relativamente recente, diciamo essenzialmente degli ultimi due secoli. Prima era considerato del tutto ovvio che la persona di cultura possedesse una preparazione di base in entrambi i campi del sapere, e Dante conosceva i principi di base sia delle cosiddette "arti del quadrivio" (Musica, Aritmetica, Astronomia, Geometria) che delle "arti del trivio" (Grammatica, Retorica, Dialettica). Questo risulta ben chiaro leggendo la Divina Commedia, dove sono assai numerosi i passi in cui Dante mostra di trovarsi perfettamente a suo agio non solo con l'astronomia (cosa ovvia data la struttura dell'intera opera) ma anche con aritmetica, geometria e logica, tanto che quando gli servono similitudini o metafore, che potrebbe scegliere in qualunque ambito, non ha problemi a sceglierle dalla geometria o dall'aritmetica, non avendo dubbi sul fatto che i lettori saranno in grado di capirle e apprezzarle.

Introduzione

Siamo abituati a pensare al Medioevo come all'epoca in cui la ragione era offuscata da leziose dispute teologiche, avulse da qualunque tentativo di conoscenza della natura. Ma chi si occupa di scienza e si imbatte nel percorso della Divina Commedia scopre che Dante dimostra una sorprendente attenzione alla descrizione dei fenomeni naturali, dal movimento degli astri ai fenomeni di meccanica fino alle molteplici manifestazioni associate alla luce, e padronanza della matematica che usa per le sue allegorie o metafore. Proprio la luce, per il suo valore simbolico e al tempo stesso per la varietà e la bellezza delle sue manifestazioni fisiche, finisce per giocare un ruolo centrale nella scenografia della Commedia. Così, ad esempio, uno dei fenomeni più spettacolari che ha per protagonista la luce, l'arcobaleno, viene descritto nel Purgatorio:

"E come l'aere, quand'è ben pïorno,
per l'altrui raggio che 'n sé si reflette,
di diversi color diventa addorno".
(Pur, XXV, 91-93)

Ciò che colpisce in questa terzina, oltre la mirabile sintesi poetica dell'immagine dell'aria che si adorna dei diversi colori, colpisce il fatto che Dante senta il bisogno di accennare anche al meccanismo fisico che causa il fenomeno.

E lo stesso dicasi per la matematica:

"L'incendio suo seguiva ogni scintilla;
ed eran tante, che 'l numero loro
più che 'l doppiar delli scacchi s'inmilla".
(Par, XXVIII, 91-93)

Per dire che c'erano tanti angeli in cielo, Dante ricorre alle progressioni geometriche, attraverso la leggenda di Sissa Nassir, l'inventore degli scacchi, al quale il re promise qualunque ricompensa per la meravigliosa invenzione.

Questi esempi, appena accennati, e tutti gli altri che analizzeremo nel corso del libro, fanno sorgere una legittima domanda: da dove viene l'affezione profonda e l'attenzione che Dante dimostra di avere nei confronti del mondo naturale e di quel mondo astratto che è o che crea la nostra mente? Qual è l'origine del suo sguardo unitario, curioso del dettaglio e, al tempo stesso, teso alla totalità dell'oggetto, fino al suo significato? Più avanti, nel I Canto del Paradiso, egli scrive:

"…Le cose tutte quante
hanno ordine tra loro, e questo è forma
che l'universo a Dio fa simigliante
Qui veggion l'alte creature l'orma
de l'etterno valore, il qual è fine
al quale è fatta la toccata norma.
Nell'ordine ch'io dico sono accline
tutte nature, per diverse sorti,
più al principio loro ve men vicine."
(Par, I, 103-111)

Per Dante le cose, tutte le cose, hanno ordine tra loro. Questo è un principio ardito, profondo, generativo; la luna, le stelle, gli alberi, gli animali, le pietre, ogni creatura è voluta in un ordine cosmico: la natura è compaginata in funzione di uno scopo. E quest'ordine è forma che l'universo a Dio fa *simigliante*. La sapienza con cui le cose sono fatte porta in sé il segno del Creatore. Questo dev'essere stato il cuore di Dante mentre guardava quell'arcobaleno o quel raggio di luce riflesso nello specchio dell'acqua. Ogni cosa, ogni particolare è significativo in quanto in esso risplende *l'etterno* valore, e per questo è degno di essere osservato e conosciuto. Si tratta di un pensiero potente, un pensiero necessario al sorgere e al primo sviluppo della scienza moderna. Ma anche per noi oggi credere che le cose tutte quante abbiano ordine tra loro è un presupposto essenziale alla ricerca. Possiamo studiare i confini dell'universo osservabile, o cercare la particella di Higgs, e fare grossi investimenti in queste direzioni, solo se siamo pronti a scommettere sul fatto che anche in quei remoti lembi della realtà ci sia un ordine a noi in qualche modo accessibile.

Ma è forse nella sua visione cosmologica che Dante tocca il vertice di quell'aspetto della sua genialità che potremmo chiamare "pre-scientifico". L'universo di Dante, come normalmente viene raffigurato, si presenta come una struttura piuttosto strana e disunita. La Terra naturalmente è al centro, con i gironi infernali al suo interno, ed è circondata dalle sfere dei pianeti, seguite dal cielo delle stelle fisse, poi dal Primo Mobile e infine dall'Empireo, sede esclusiva del divino. Ma nello schema dantesco c'è anche una struttura aggiuntiva, che si trova separata, al di fuori del Primo Mobile, composta dai nove cerchi angelici, e la "candida rosa" che appare normalmente in una zona intermedia dello schema. Insomma, l'immagine del cosmo dantesco è a prima vista alquanto sconnessa, fatto singolare per un autore che ha mostrato una così grande tensione all'armonia e all'unità. Possibile che dopo tanta geniale e accurata narrazione, giunto al culmine del suo viaggio umano e cosmico Dante ci proponga un'architettura tanto precaria per l'universo? Ebbene, la considerazione attenta delle parole del poeta: "… *parendo inchiuso da quel ch'elli 'nchiude"* induce a ipotizzare una lettura diversa, ardita, che fu proposta per la prima volta dal matematico tedesco Speiser nel 1925 e poi argomentata da vari autori, che mette in evidenza la genialità di Dante. Qual è questa sconvolgente lettura? È che Dante per il suo Paradiso non ha immaginato uno spazio geometrico euclideo, bensì uno spazio curvo, quadridimensionale, che ha delle forti analogie con la geometria dello spazio tempo di Einstein che, secondo la cosmologia moderna, descrive l'universo nel quale viviamo.

Naturalmente Dante non era uno scienziato, nel senso moderno del termine, altrimenti si cade in considerazioni forzate, fantasiose e prive di riscontri storici. Grazie ai progressi della scienza la nostra conoscenza del cosmo e della natura oggi è immensamente più vasta e dettagliata di quella dei medievali (chissà quanto avrebbe goduto Dante a conoscere anche solo una piccola parte di quello che abbiamo compreso oggi sulla struttura dell'universo e sulla simmetria delle leggi della fisica!). Ma forse noi moderni rischiamo di perdere la cosa più preziosa: quella gratitudine, quell'ampiezza della ragione, quella tensione all'unità, quel "senso del mistero" che doveva ardere nello sguardo e nel cuore di Dante Alighieri e che, come diceva Einstein, *"è il seme di ogni arte e di ogni vera scienza"*.

CAPITOLO 1

DANTE
SOMMO SCIENZIATO

1. Introduzione

Nel medioevo il campo scientifico e umanistico fiorirono sul medesimo terreno culturale, e per gran parte della storia successiva medievale l'orizzonte culturale rimase sostanzialmente uno e privo di fratture. In particolare la scienza e la letteratura nacquero sulle medesime basi: la curiosità nei confronti del mondo che ci circonda, il desiderio mai appagato di raggiungere la piena verità, lo stupore nei confronti dei meccanismi di straordinaria precisione e bellezza che regolano l'universo. In natura il bello è anche armonioso, è anche geometrico, e ciò che desta stupore è anche scientificamente preciso e perfetto, e sono proprio questi meccanismi fisici-matematici che portano a stupirsi. Indagare il bello e l'incredibile attraverso i sentimenti che questi suscitano, o attraverso le regole che li generano, differisce solo perché in un caso sono indagate le conseguenze, nell'altro le cause. Gli oggetti di studio sono complementari ma le sensazioni da cui derivano sono le stesse. Piacere estetico, curiosità e ammirazione riempiono il lavoro tanto dello scienziato quando del poeta.

Per quanto riguarda i metodi di espressione di queste sensazioni, tanto il matematico quanto il poeta utilizzano un linguaggio di grande potenza. Il poeta condensa concetti e sentimenti in parole che evocano visioni, e che formano versi per i quali molto spesso è necessario darsi schemi quasi scientifici, metrici e di resa espressiva. Lo scienziato dal canto suo si trova a destreggiarsi con un linguaggio altrettanto sintetico, potente ed espressivo, il linguaggio della matematica. In una formula sono compresse leggi che, per la loro verità inconfutabile e per il loro significato denso di conseguenze, sembrerebbero pronte a esplodere da un momento all'altro.

Ma la ragione ultima, e forse più importante, che spinge tanto il poeta che lo scienziato ad indagare, seppur con strumenti espressivi diversi, sulla natura è il piacere intellettuale, la forza propulsiva dell'immaginazione, che lancia la ragione a una corsa senza fine (e che sia immaginazione artistica o matematica poco cambia). E' l'uomo razionale che si pone di fronte allo spettacolo dell'universo e cerca di carpirne i segreti più nascosti. E Dante è tutto questo, poeta e scienziato, che ha saputo cogliere ed interpretare originalmente il potere immaginifico e metaforico delle scienze.

2. Dante scienziato



Dante Alighieri (1265-1321) è uomo non solo di grandissima cultura, ma anche di straordinaria intelligenza matematico-scientifica, che ha prodotto intuizioni tali che oggi, a buon diritto, può essere annoverato tra i precursori del metodo sperimentale. L'osservazione, la logica, il ragionamento sono i punti cardini della sua posizione di fronte ai fenomeni che osserva nel viaggio ultraterreno. Dante, insomma, fu anche un grande uomo di scienza. Certo, uomo di scienza del medioevo, un'epoca in cui la scienza era ben diversa dalla nostra: non si basava esclusivamente su leggi matematiche, come sarà da Galileo Galilei in poi, ma su meditazioni ed elaborazioni filosofiche nelle quali si mescolavano la Teologia, la Filosofia Scolastica, la Fisica Aristotelica, l'Astrologia, l'Alchimia, la Magia, insieme al grande retaggio della matematica e della fisica greche. Tra i riferimenti scientifici di Dante ricordiamo:

- ✓ ***Talete di Mileto*** (624-547 a.C.), matematico e filosofo greco
- ✓ ***Aristotele di Stagira*** (384-322 a.C.), filosofo e scienziato greco
- ✓ ***Euclide di Alessandria*** (circa 365-300 a.C.), matematico greco
- ✓ ***Zenone di Cizio*** (333-263 a.C.), filosofo greco
- ✓ ***Claudio Tolomeo*** (circa 100-175), astronomo greco
- ✓ ***Severino Boezio*** (476-525), filosofo romano
- ✓ ***Isidoro di Siviglia*** (560-636), scienziato spagnolo
- ✓ ***Alhazen*** (965–1038), scienziato arabo
- ✓ ***Alberto Magno*** (1206-1280), filosofo e scienziato tedesco
- ✓ ***Ruggero Bacone*** (1214-1290), scienziato inglese

Molti di questi maestri vengono omaggiati da Dante nel Cielo del Sole, tra cui Alberto Magno, Tommaso d'Aquino, Severino Boezio, Isidoro di Siviglia, Beda il Venerabile, Riccardo di San Vittore:

"Questi che m'è a destra più vicino,
frate e maestro fummi, ed esso Alberto
è di Cologna, e io Thomas d'Aquino [...]
Per vedere ogne ben dentro vi gode
l'anima santa che 'l mondo fallace
fa manifesto a chi di lei ben ode [...]
Vedi oltre fiammeggiar l'ardente spiro
d'Isidoro, di Beda e di Riccardo,
che a considerar fu più che viro."
(Par. X, 97-99.124-126.130-132)

Questo dimostra che il medioevo non fu affatto un millennio di oscurantismo e di terrore, ma conobbe ambienti favorevoli alla nascita di grandi scuole, ed intelletti illustri che trasmisero il sapere dell'età antica e lo arricchirono di nuove conoscenze, interrogando la natura con curiosità scientifica ante litteram. Tutti costoro non si limitarono a ricopiare i testi dell'antichità, ma diedero il loro personale contributo a quelle che allora erano chiamate le "Arti Liberali" (arti del trivio: Grammatrica, Retorica, Dialettica; arti del quadrivio: Aritmetica, Geometria, Astronomina, Musica), cioè quelle attività dove era necessario un lavoro prettamente intellettuale, a fronte delle "arti meccaniche" che richiedevano uno sforzo fisico. Proprio attorno allo studio di queste discipline nacquero le

grandi università medioevali: la Schola Medica di Salerno (IX secolo), la Facoltà di Diritto a Bologna (1088), l'Università di Oxford (1096), la Sorbona di Parigi (1170), l'Università di Cambridge (1209), l'Università di Salamanca (1215). Nel 1300 sorgevano in Europa già 15 università: cinque in Italia (Bologna, Padova, Napoli, Vercelli e lo Studium della Curia Romana), cinque in Francia (Parigi, Montpellier, Tolosa, Orléans e Angers), due in Inghilterra (Oxford e Cambridge), due in Spagna (Salamanca e Valladolid) e in Portogallo (Lisbona, poi trasferita a Coimbra).

Dante è erede di tutto lo sterminato scibile antico e di questo straordinario rigoglio culturale medievale, del quale dimostra, come vedremo passo passo, una perfetta conoscenza. Ma, contrariamente a quanto si creda, egli non si adagia sul principio di autorità, sull'ipse dixit, sull'immenso prestigio di pensatori e scienziati come Aristotele e Tolomeo. Egli è anzitutto mosso dal desiderio di conoscere cose sempre nuove, di *"divenir del mondo esperto"* non fermandosi a quanto dedotto dai suoi predecessori, esattamente come lo straordinario Ulisse da lui tratteggiato:

" ...Né dolcezza di figlio, né la pieta
del vecchio padre, né 'l debito amore
lo qual dovea Penelopè far lieta,
vincer potero dentro a me l'ardore
ch'i' ebbi a divenir del mondo esperto
e de li vizi umani e del valore [...]
"Considerate la vostra semenza:
fatti non foste a viver come bruti,
ma per seguir virtute e canoscenza."
(Inf. XXVI, 94-99.118-120)

E per il sommo poeta l'indagine del mondo, come scrive egli stesso nel Convivio, inizia sempre dallo stupore e dalla meraviglia di un osservatore: *"Lo stupore è uno stordimento dell'animo per grandi e meravigliose cose vedere o udire o per alcuno modo sentire: che, in quanto paiono grandi, fanno reverente a sé quelli che le sente; in quanto paiono mirabili fanno voglioso di sapere di quelle."* (Convivio IV, XXV, 5). Questo stupore è il punto di partenza di un'indagine conoscitiva, uno studio della realtà che parte sempre e comunque, in ogni campo dello scibile, dall'osservazione dei fenomeni, secondo il principio messo in bocca a Beatrice nel Cielo della Luna:

"...Solo da sensato apprende
Ciò che fa poscia d'intelletto degno"
(Par. IV, 41-42)

Proprio la capacità di vedere ciò che tutti guardano e non riconoscono è una delle caratteristiche che ha fatto di tanti osservatori della natura degli autentici geni e scienziati, nel senso moderno del termine. E dalla conoscenza degli antichi, fatta propria ed interiorizzata come solo un vero genio sa fare, e dalla raccolta attenta e precisa dei dati attraverso l'osservazione, nascono alcune delle pagine più epiche della Divina Commedia. Nasce Gerione che si avvita nuotando nell'aria, e scendendo lungo un'elica cilindrica; nasce il demonio che riesce a mettere nel sacco persino San Francesco, derubandolo grazie all'uso della logica dell'anima di Guido da Montefeltro; nascono le mura della Città di Dite, che paiono di ferro incandescente; nasce l'Angelo del Purgatorio che ispira a Dante il concetto della riflessione della luce; nascono i mille riferimenti astronomici che permettono di collocare pressoché ogni spostamento di Dante in una precisa ora del giorno.

L'importanza inestimabile dell'opera di Dante, in cui l'ambizione letteraria è unita a un forte interesse pratico e scientifico, si riflette nel ritratto che fece di lui il Villani: *"[Dante] fue grande letterato quasi in ogni scienza …"* (Giovanni Villani, "Nuova Cronica" – XIV sec.).

Che a Dante vada conferita la valenza dello scienziato non è opinione di per sé originale. Nella *Quaestio*, l'ultima opera del genio fiorentino la cui autenticità è molto dibattuta, Dante mostra la "*particolarità quanto mai interessante*" di privilegiare "*chiaramente le argomentazioni fisiche, usando le metafisiche come puro richiamo o, al più, come supporto*". La *Quaestio* è una dissertazione pronunciata in Verona il 20 gennaio del 1320 (dunque a meno di due anni dalla morte) avente per oggetto un argomento, nient'affatto banale, che fu sollevato nel corso di una disputa tra filosofi a cui aveva avuto modo di assistere in Mantova qualche tempo prima, e cioè "se l'acqua nella sua sfera, ossia nella sua natural circonferenza, fosse in qualche punto più alta della terra che da essa emerge". Ebbene, in questo trattatello, scritto in latino, a differenza della Commedia e perciò rivolto ad un pubblico di specialisti, Dante fornisce soluzioni tutte sue "*per amor della verità e in odio alla menzogna*". Individuati i principali argomenti (cinque) con cui alcuni personaggi, imprecisati, sostenevano la possibilità della condizione in analisi, l'Alighieri prende ad argomentare confutandoli ad uno ad uno con un metodo che in alcuni passi corrisponde a quello propriamente scientifico. Assai significativo, per quanto ci si propone in questo lavoro, il quinto di tali argomenti, con il quale i filosofi antagonisti supponevano il globo acqueo dotato di forma ellittica sulla falsa riga dell'orbita lunare, essendo viva la consapevolezza che "*l'acqua séguiti principalmente il moto della Luna, come si pare dal flusso e dal riflusso de' mari*". Ebbene Dante si rifiuta di accettar valido un simile argomento (così come né Keplero né Galileo se la sentirono di speculare, tre secoli dopo, sulla base del medesimo fenomeno, in termini di gravitazione), poiché in tal caso "*in modo equivoco [contro l'esperienza] si affermerebbe la gravità di questi elementi [acqua e terra]*". Ne è possibile per l'Alighieri ammettere anche soltanto una semplice "*gibbosità*" del globo acqueo, poiché "*l'acqua della gibbosità scorrerà all'in giù fino a tanto che non si sarà ugualmente raccolta*" attorno alla "*circonferenza centrale*".

Assoluto nella Divina Commedia è il convincimento della sfericità del pianeta, che Dante mutua soprattutto dal *De Natura loci* di Alberto Magno. Ma ciò che deve impressionare non è tanto il concetto in sé, che già ben caratterizza la consapevolezza del tempo, quanto la forza, inusitata, con cui tale messaggio viene per la prima volta lanciato a tutto il mondo mediante l'uso potentissimo del volgare. Basti pensare ai continui riferimenti nel poema alle zone della sfera terrestre alternativamente in ombra e in luce. Esemplare il caso dell'ultimo canto dell'Inferno (il XXXIV) ove Virgilio insegna al discepolo che: "*Qui è da man, quando di là è sera*" (v. 118). E' assai probabile che Dante lavorasse con l'ausilio di un modello di mappamondo sul quale aveva segnato gli elementi fondamentali della propria cosmogonia: la città di Gerusalemme, il Monte del Purgatorio all'antipodo di quella, e la posizione relativa di Roma, che il poeta poteva ricavare dalle mappe in uso nel suo tempo. Opportunamente illuminato da una sola candela assunta al ruolo del Sole, nel buio assoluto di una stanza tale mappamondo poteva fornirgli tutte quelle indicazioni necessarie allo sviluppo geografico-astronomico del suo capolavoro: un sistema molto pratico per evidenziare alcuni fondamentali fusi orari. Basti il solo caso, esemplare, di Pur., IV 137-139: *"Vienne omai: vedi ch'è tòcco/meridian dal sole ed alla riva/cuopre la notte già col piè Morrocco"*.

Ma ben più inaudita è la profondità dell'analisi dantesca: ancora nel fondamentale canto XXXIV dell'Inferno, con precisione ai vv. 110-111, Dante tratta di quel *"punto/al qual si traggon d'ogni parte i pesi"*, quel punto, cioè (il centro del pianeta), per oltrepassare il

quale, onde salire all'emisfero opposto, Virgilio è costretto a compiere una capriola tenendosi aggrappato ai pelacci di Lucifero e portando Dante a cavalcioni (vv. 82-93). Ebbene, è con precisione a questo autentico numero da circo che deve essere ricondotto l'intero sviluppo del pensiero scientifico moderno. Infatti, tre secoli dopo, il giovane Galileo Galilei, fu chiamato ad impegnarsi sulle dimensioni dell'inferno dantesco e poté così apprendere dell'esemplare esposizione del corretto funzionamento della forza di gravità. Difficile pensare, infatti, che da quel famoso punto *"al qual si traggon d'ogni parte i pesi"*, Galileo non trasse grande ispirazione per la formulazione completa della teoria dei gravi.

Ma ciò che sorprende maggiormente è la descrizione fisica e geometrica dell'Empireo, che risulta incomprensibile alla luce della geometria, quella euclidea, nota ai tempi di Dante. Ma che diventa chiara se vediamo nella descrizione di Dante un'anticipazione, seppur in maniera intuitiva, di quella geometria non euclidea, l'ipersfera, usata da Einstein per descrivere lo spazio curvo dell'universo in cui viviamo. Dante, diventa anticipatore di eventi successivi grazie alle sue profonde intuizioni e alla immaginifica visionarietà, qualità che ritroviamo in varie personalità scientifiche nei secoli successivi come Galileo, Newton ed Einstein.

Ma come avveniva una discussione di argomento scientifico ai tempi di Dante? Naturalmente il riferimento era la logica della Scolastica che consisteva nell'argomentare con il metodo della *quaestio*, enunciando dapprima gli argomenti, sia in termini astratti che sperimentali anche attraverso modellizzazioni tipiche della scienza contemporanea, pro e contro una certa soluzione di un problema, e passando poi alla scelta di un partito e alla confutazione di quello opposto. Un esempio tipico di questa procedura lo incontreremo nel capitolo riguardante Dante astronomo, dove si porrà la questione circa la natura delle macchie lunari, fenomeno che aveva sollevato parecchi problemi, visto che nella concezione cosmologica aristotelica e tolemaica, il mondo celeste doveva essere costituito esclusivamente da sfere perfette di etere, cioè formate da una sostanza incorruttibile. Questo atteggiamento speculativo risulterà molto fertile per il progresso della ricerca e comporterà risultati stimolanti per il progresso delle idee scientifiche, suggerendo di confrontare certe spiegazioni di Aristotele, ad esempio nel campo della fisica, con altre eventualmente meno autorevoli. Così, anche se ancor lontani dalle procedure tipiche della scienza moderna, questo atteggiamento concorrerà ad un risveglio della curiosità e delle discussioni su problemi scientifici fino ad allora bloccati dal criterio di autorità (*ipse dixit*). Non dimentichiamo che le grandi teorie della fisica del Novecento (Teoria della relatività e Meccanica quantistica) sono state il frutto, sì di grandi intuizioni, ma anche di severi e rigidi ragionamenti deduttivi. Infatti, alcune teorie scientifiche dipendono in modo essenziale dall'induzione (vedi la legge di caduta dei gravi di Galileo), ed Einstein apprezzava in maniera notevole le osservazioni sperimentali delle quali si serviva per individuare certi punti fissi sui quali costruire una teoria. Altre dipendono prevalentemente dalla deduzione, dove la conoscenza intuitiva degli elementi essenziali di un vasto complesso di fatti porta lo scienziato a postulare in via ipotetica una o più leggi fondamentali. Da queste leggi, egli deduce le sue conclusioni. Ovviamente, nel caso delle macchie lunari la dimostrazione che si dà ci fa sorridere oggi, non perché i vari passaggi della dimostrazione non sono logici o rigorosi, ma perché sono sbagliati i postulati aristotelici dai quali si parte per giungere, attraverso passaggi logici e rigorosi, all'unica spiegazione possibile e confutando tutte le altre in gioco.

Tuttavia, al di là della verità scientifica o meno degli assunti e delle dissertazioni, emerge un Dante nel quale il gusto alla razionalità è tale, da approntare un esperimento

per dimostrare il proprio assunto. L'amore di Dante per la conoscenza è tutto in questa tensione ad andare a fondo del mistero che ha dato vita a tutte le cose.

3. La Divina Commedia

La Divina Commedia rappresenta sicuramente il vertice assoluto mai raggiunto dalla letteratura italiana, ed il suo autore, il fiorentino Dante Alighieri, è a buon diritto celebrato come il massimo poeta italiano di ogni tempo, ed uno dei massimi al mondo che la storia ricordi. L'opera fu iniziata forse a Firenze verso l'anno 1300 e successivamente composta fra il 1307 e il 1320. L'opera è composta in terzine, un metro ideato dallo stesso Dante, e si compone di 14.233 endecasillabi. Essa è suddivisa in tre cantiche: Inferno, Purgatorio e Paradiso, ognuna delle quali è suddivisa in 33 canti, più un canto iniziale introduttivo all'intera opera, per un totale di 100 canti.



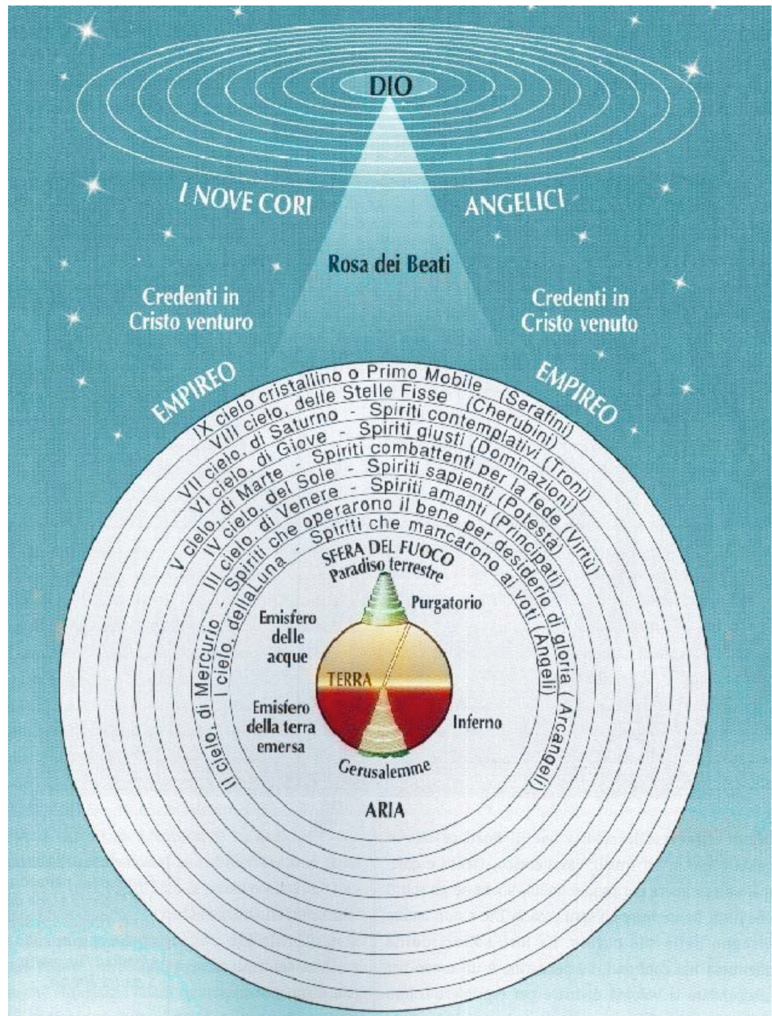
L'opera racconta il viaggio ultraterreno del Sommo Poeta (che parla in prima persona) attraverso i tre Regni dell'Oltretomba, al termine del quale riuscirà a godere per un istante della visione beatifica di Dio. Nel suo viaggio attraverso Inferno e Purgatorio è accompagnato dal poeta romano ***Virgilio*** (70-19 a.C.), simbolo della ragione umana, che può arrivare di per sé sola fino alle soglie della Grazia ma, se non è illuminata da questa, è condannata a restarne fatalmente esclusa. Nel Paradiso Terrestre e attraverso i Cieli del Paradiso a guidarlo è invece Beatrice, donna angelicata il cui corrispettivo storico è ***Beatrice Portinari***, moglie di Simone de' Bardi, amata da Dante ma morta giovanissima l'8 giugno del 1290, che rappresenta la Grazia Santificante. Nell'ultima ascesa a Dio verso l'Empireo a guidare Dante è invece ***San Bernardo di Chiaravalle*** (1090-1153), mistico medievale e grande devoto di Maria, senza la cui intercessione Dante non potrebbe vedere Dio.

Al di là del racconto del favoloso viaggio oltre i confini della morte e del tempo, al di là dell'interpretazione allegorica secondo cui il poema è metafora del percorso che deve seguire l'uomo per giungere alla salvezza, al di là del denso simbolismo che impregna l'opera, al di là dell'alto ufficio morale che Dante si è autoattribuito, al di là di tutto ciò, la Divina Commedia rappresenta anche la summa di tutto il sapere dell'età antica e dell'età medioevale, e quindi anche della scienza in generale e della fisica, la matematica e l'astronomia in particolare. Le sue similitudini sono dense di dottrina, non solo filosofica e religiosa; ogni stranezza vista da Dante nei tre regni dell'aldilà è occasione per dotte disquisizioni che dimostrano la sua perfetta padronanza del sapere in voga al suo tempo. Spesso le sue guide e i suoi interlocutori si lasciano andare a lunghe digressioni sui più disparati argomenti, nelle quali l'impareggiabile maestria del sommo poeta si unisce sempre alla perfetta rigorosità dell'uomo di scienza.

4. La struttura dell'Inferno, Purgatorio e Paradiso

Diamo uno sguardo alla geometria dell'Inferno, del Purgatorio e del Paradiso dal punto di vista "tradizionale".

Secondo la concezione geografica dantesca, basata su varie fonti euro-mediterranee (di origine cristiana, ebraica e islamica), il mondo è diviso in due distinti emisferi: l'uno interamente formato dalle terre emerse e l'altro completamente coperto dalle acque. In base al sistema tolemaico, la Terra si trova al centro dell'universo e il Sole e gli altri pianeti ruotano intorno ad essa. Quando, all'inizio dei tempi, Lucifero si ribellò a Dio, egli lo fece precipitare sulla Terra dal Paradiso che si trova in cielo oltre il sistema di rotazione geocentrico. Nel punto in cui cadde, il terreno presente, si ritrasse per il terrore del contatto con il demonio, creando così l'enorme cavità a imbuto che forma l'Inferno. La porzione di terra ritratta, riemerse nell'emisfero coperto dalle acque e formò la Montagna del Purgatorio che si erge in mezzo all'immenso mare dell'emisfero opposto.



Lucifero è quindi conficcato al centro della Terra, nel punto più lontano da Dio, immerso fino al busto nel lago sotterraneo Cocito, il quale è perennemente congelato a causa del vento freddo prodotto dal continuo movimento delle sue sei ali. Dal centro della Terra, a partire dai piedi di Lucifero, inizia un lungo corridoio, detto Burella (o *natural burella*), che conduce all'altro emisfero, direttamente alla Montagna del Purgatorio. L'Inferno è, dunque, una profonda struttura ad imbuto che raggiunge il centro della Terra. È composta da nove cerchi. Dante e Virgilio infatti percorrono il loro cammino girando lungo i cerchi che pian piano si spingono a spirale giù in profondità. Man mano che si scende, i cerchi si restringono; infatti minore è il numero dei peccatori puniti nei cerchi che via via sono più lontani dalla superficie. I cerchi più grandi si trovano più in alto perché più diffuso è il peccato che ivi è punito e maggiore è il numero dei peccatori condannati. Più si scende, più si è lontani da Dio e maggiore è la gravità del peccato.

Il Purgatorio dantesco è diviso in Antipurgatorio, Purgatorio e Paradiso terrestre. La struttura morale del Purgatorio segue la classificazione tomistica dei vizi dell'amore mal diretto, e non fa più riferimento a singole colpe. Esso è suddiviso in sette cornici, nelle quali si espiano i sette peccati capitali: superbia, invidia, ira, accidia, avarizia, gola, lussuria. A questa fanno da cornice, in apertura, l'Antipurgatorio, e in chiusura il Paradiso

terrestre. Costruito specularmente all'Inferno, inteso quindi non più come voragine ma come montagna, anche l'ordine dei peccati risulta capovolto: il cammino di Dante è infatti dal peccato più grave a quello più lieve (ancora una volta la lussuria, ovvero l'amore che eccede nella misura).

Ogni cornice ha un custode angelico, e precisamente gli angeli dell'umiltà, della misericordia, della mansuetudine, della sollecitudine, della giustizia, dell'astinenza e della castità; in ogni cornice, inoltre, gli espianti hanno sotto gli occhi esempi del loro vizio punito e della virtù opposta. Giunto alle soglie del Paradiso terrestre, Virgilio deve abbandonare il poeta; alla guida di Dante si pone il poeta latino Stazio, che lo condurrà nel giardino celeste, dove lo accoglierà Matelda, a sua volta anticipazione dell'apparizione di Beatrice.

Le anime del Purgatorio sono già salve, ma prima di arrivare al Paradiso, per espiare i propri peccati, devono salire il monte come facevano ai tempi di Dante i pellegrini che per far penitenza partivano per Roma o per Santiago de Compostela. Ogni anima deve dunque percorrere tutto il cammino e purificarsi in ogni cornice del peccato corrispondente; ma per facilitare l'incontro con determinati personaggi, il poeta li colloca nella cornice propria del loro peccato più rilevante. Il Purgatorio ha la funzione specifica di espiazione, riflessione e pentimento, ed è solo attraverso il cammino, quindi il pellegrinaggio verso Dio, che l'anima può aspirare alla redenzione. Questo vale anche per Dante, che all'inizio ha incise sulla fronte sette P, simbolo dei sette peccati capitali; alla fine di ciascuna cornice l'ala dell'angelo guardiano cancella la P indicando così che quella specifica espiazione è compiuta.

Mentre l'Inferno ed il Purgatorio sono luoghi presenti sulla Terra, il Paradiso è un mondo immateriale, etereo, diviso in nove cieli: i primi sette prendono il nome dai corpi celesti del sistema del sistema solare (nell'ordine Luna, Mercurio, Venere, Sole, Marte, Giove, Saturno), gli ultimi due sono costituiti dalla sfera delle stelle fisse e dal Primo mobile. Il tutto è contenuto nell'Empireo, e precisamente nel catino della Candida Rosa (o Rosa Mistica) dal quale essi contemplano direttamente Dio; tuttavia, per rendere più comprensibile al viaggiatore l'esperienza del Paradiso, le figure gli appaiono di cielo in cielo, in una precisa corrispondenza astrologica tra la qualità di ogni pianeta e il tipo di esperienza spirituale compiuta dal personaggio descritto. All'ingresso nel Paradiso terrestre, Virgilio, che secondo l'interpretazione figurale rappresenta la Ragione, lascia il posto a Beatrice, raffigurante la Teologia. Ciò simboleggia l'impossibilità per l'uomo di giungere a Dio per il solo mezzo della ragione umana: sono necessari uno scarto intuitivo e un diverso livello di "ragione divina" (ossia di verità illuminata), rappresentati appunto dall'accompagnatrice. Dante attraversa tutti i cieli con Beatrice (la Luna, i pianeti fino a quello delle stelle fisse) fino al Primo Mobile, al confine dell'universo, quel paradossale confine. Ma Dante supera con Beatrice quel confine: lo supera e parla di quel confine del Primo Mobile dicendo: *"Le parti sue vivissime ed eccelse sì uniforme son, ch'i non so dire qual Beatrice per loco mi scelse"*. L'ultimo cielo è totalmente uniforme, non c'è un punto particolare attraverso il quale lui insieme a Beatrice passa: ogni punto è uguale a qualunque altro. Ebbene, passano dall'altra parte e che cosa vedono? Il XXVIII canto ci descrive un altro universo, un universo allo specchio, un universo fatto dalle sfere, dai cerchi angelici che convergono nel punto divino: *"Da quel punto depende il cielo e tutta la natura"*.

5. La Divina Commedia vista dagli scienziati

Se Dante non ha mai rifiutato alla scienza ruoli di importanza poetica, simmetricamente scienziati di ogni epoca sono stati affascinati dalla Divina Commedia: in primo luogo, com'è ovvio, per le qualità poetiche e artistiche della stessa, ma in secondo luogo anche per la struttura scientificamente rilevante che Dante magistralmente costruisce nella edificazione della sua cosmologia.

Nel 1588 il giovane ***Galileo Galilei*** (1564-1642) fu chiamato dall'Accademia Fiorentina a tenere alcune conferenze di argomento letterario, in particolare due lezioni *"circa la figura, sito e grandezza dell'Inferno di Dante"*. Per la verità il fondatore degli studi di cosmografia dantesca fu un matematico e architetto fiorentino, ***Antonio Manetti*** (1423-1497), il quale, pur non pubblicando niente in vita, lasciò alcuni significativi studi inerenti alla struttura dell'Inferno dantesco. Gli studi sulla forma e struttura del mondo dantesco erano divenuti oggetto di un vero e proprio dibattito pubblico, anche al di fuori di Firenze. L'Accademia fiorentina, preoccupata forse delle varie iniziative che prendevano di mira il monopolio fiorentino su Dante, affidò proprio al giovane Galileo il compito di difendere la posizione del Manetti. Compito che Galileo eseguì con originalità e intervento personale. Dopo aver studiato con precisa geometria l'intero imbuto infernale, Galileo si accinge a calare il proprio metro fino al centro della Terra: le ghiacce infernali. Come scoprire la grandezza di ciascuna? La via più sicura è quella di affidarsi alle parole del poeta:

"Lo 'mperador del doloroso regno
da mezzo 'l petto uscia fuor de la ghiaccia;
e più con un gigante io mi convegno,
che i giganti non fan con le sue braccia:
vedi oggimai quant'esser dee quel tutto,
ch'a cos. fatta parte si confaccia."
(Inf, XXXIV, 28-33)

I versi contengono tutto quanto vogliamo sapere. Come? Seguiamo schematicamente il pensiero di Galileo:

- Dante ci dice che la prima ghiaccia arriva a metà del petto di Lucifero
- È noto per altri passi della commedia che l'ombelico di Lucifero coincide con il centro della Terra

se ne deduce che il nuovo obiettivo di ricerca è la misura che intercorre tra l'ombelico e la metà del petto di Lucifero, tale misura corrisponde infatti al raggio della ghiaccia. Inoltre, ai tempi di Galileo erano note molte proporzioni che regolavano le distanze tra le parti del corpo, pertanto il problema può ancora essere ridotto a un altro interrogativo: quanto è alto Lucifero? Anche in questo caso Dante ci viene in aiuto. I versi sopra riportati rivelano infatti nientemeno che una proporzione matematica, del tipo:

altezza di Dante : altezza di gigante = altezza di gigante : braccio di Lucifero

I termini della proporzione parrebbero ancora difficili da tradurre in numeri, ma Galileo non si dà per vinto. Il primo termine è risolto senza troppi problemi: nelle biografie di Dante si parla di un uomo di media statura, pertanto facilmente stimabile in 3 braccia (1,75 m; 1 braccio=0,583 m). L'altezza di un gigante, un po' meno frequentemente misurata, crea un po' più problemi. Ma ormai abbiamo capito che non esiste problema per

cui Dante non ci abbia lasciato qualche indizio. Parlando di Nembrot, il primo gigante che incontra dichiara infatti:

"La faccia sua mi parea lunga e grossa
come la pina di San Pietro a Roma;
ed a sua proporzione eron l'altr'ossa."
(Inf., XXXIII, 58-60)

La faccia di un gigante ha dunque le dimensioni della pigna bronzea che si trovava ai tempi di Dante nell'atrio di San Pietro a Roma. Galileo stima tale misura 5,5 braccia (3,2 m). Solitamente un uomo è alto otto teste, la statura perfetta sarebbe nove teste, ma Galileo esclude che i giganti siano di tale perfetta bellezza, pertanto in definitiva un gigante risulta essere alto 5,5x8=44 braccia (più di 25 metri e mezzo). La proporzione può finalmente essere sciolta:



3:44=44:braccio di Lucifero⇒braccio di Lucifero=44x44/3 ≈ 645 braccia (circa 376m)

Un braccio è la terza parte dell'altezza, pertanto Lucifero sarà alto 645·3=1935 braccia. Galileo, da buon matematico, arrotonda l'altezza di Lucifero a 2000 braccia (1166 m). La conclusione del problema è ora banale, Galileo sa che l'intervallo tra ombelico e metà petto è 1/4 dell'altezza, pertanto il raggio della prima ghiaccia è di 500 braccia (circa 291 m). Dai versi di Dante non si possono arguire le dimensioni delle altre tre zone del Cocito; ma, se anch'esse hanno la forma di sfere, Galileo suppone che esse siano equidistanti fra di loro, come i cieli del Paradiso si circondano l'un l'altro; ed allora la Tolomea avrà un raggio di 1000 braccia, l'Antenora di 1500 e la Caina di 2000 (rispettivamente 583, 875 e 1166 m). Calcoli analoghi si potrebbero fare per le Malebolge, l'ottavo cerchio dell'Inferno, suddiviso in dieci bolge, nel quale sono puniti i frodatori. Ebbene, la larghezza totale dell'ottavo cerchio è di circa 29 km.

CAPITOLO 2

DANTE MATEMATICO

1. Introduzione

Sebbene moltissimi siano oramai gli studi di vari autori dedicati all'analisi della presenza della matematica nella Divina Commedia, con grande stupore ci si accorge che esiste sempre qualche angolo inesplorato o qualche verso che può ancora fornire argomento di riflessione e di studio. Bisogna però dire, per evitare di fare di Dante ciò che non è, che la matematica che trapela dalla Divina Commedia rivela una conoscenza che non va molto oltre la cultura generale, ma l'immagine che Dante ci restituisce della matematica, attraverso allegorie e metafore, è sorprendente. Non solo trae spunto dalle sue leggi per delineare immagini di grande forza e incisività, ma ne realizza anche un notevole elogio sul piano epistemologico. Come vedremo dai singoli passi dell'opera, Dante ha una lucida consapevolezza dei limiti della ragione umana di fronte alla verità divina: alcune volte questi limiti sono rivelati dalla scienza, altre volte dalla poesia e dalla capacità di espressione. In entrambi i casi, pur mettendone in luce il limite, il poeta eleva scienza e poesia, entrambe, a massime espressioni della razionalità dell'uomo: piccola, sì, di fronte a Dio, ma meravigliosamente grande nel mondo.

2. La logica

Quando si parla di presenza della Logica nell'opera dantesca naturalmente non ci si riferisce alla logica matematica propriamente detta, che nasce intorno alla metà del XIX secolo con l'opera di ***George Boole*** (1815-1864), ma a quella di Aristotele che si basa su tre leggi fondamentali:

1) Principio di identità: ogni proposizione è determinata ed equivalente a se stessa (A=A è sempre vera).
2) Principio di non contraddizione: una proposizione non può essere contemporaneamente vera e falsa.
3) Principio del terzo escluso: ogni proposizione può essere solo o vera o falsa, senza altre possibilità (cioè non vi è qualcosa di intermedio fra la verità e la falsità).

E sull'assioma:

È necessario in ogni caso affermare o negare, ed è impossibile simultaneamente essere e non essere.

Pur tuttavia, la chiarezza dei ragionamenti, l'impostazione deduttiva di stampo aristotelico, la limpida struttura del pensiero, tutto ciò che insomma non potremmo definire con altro termine che logica, è innegabilmente presente in ogni espressione della visione dantesca del mondo. Che poi in questo caso il confine tra filosofia e scienza sia piuttosto confuso, o comunque non netto, e anzi la logica dantesca si debba sicuramente più strettamente legare alla sua formazione filosofica, nulla toglie al carattere scientifico che la sua forza imprime su ogni pensiero.

Dove, come, quando Dante ha appreso la logica? Certo, nello studio del Trivio: Grammatica, Retorica, Dialettica, dove, appunto, quest'ultima disciplina coincide in gran parte con la logica. E poi attraverso Boezio Dante è arrivato ad Aristotele (del quale ha certo una lettura diretta), a ***Pietro Ispano*** (1210/20-1277), ed infine a ***Tommaso d'Aquino*** (1221-1274), anche lui logico finissimo. Detto ciò, andiamo alla ricerca dei passi logici espliciti nella Divina Commedia:

"... e Pietro Ispano,
lo qual giù luce per dodici libelli ..."
(Par., XII 134-135)

I "*dodici libelli*" sono i dodici libri che compongono le *Summule logicales* di Pietro Ispano, opera che ci permette di dire che si tratta del massimo logico medioevale. Dante conosceva questa imponente opera di logica, a lui contemporanea e di respiro quasi moderno. Si pensi che nel I volume si trova già traccia di quello che oggi viene chiamato "calcolo degli enunciati", mentre nel IV trova posto la sillogistica (la scienza del ragionamento concatenato). È in questa che è codificata la pratica didattica di usare, a scopo mnemonico, vocali, parole e versi per designare i tipi di proposizione e di sillogismo di cui aveva trattato Aristotele. Così *A* indica la proposizione affermativa universale (Tutti gli A sono B), *E* l'universale negativa (Nessun A è B), *I* la particolare affermativa (Qualche A è B), *O* la particolare negativa (Qualche A non è B). Mediante tali vocali sono coniate parole come Barbara, Celarent, Darii, Ferio, etc, le quali descrivono i modi validi delle quattro figure sillogistiche. Così, ad esempio, la parola "Barbara" - caratterizzata dalla presenza di tre A (Barbara) - richiama alla memoria il sillogismo avente come premessa e come conclusione proposizioni universali affermative.

Altro passo del Paradiso:

"Io li credetti; e ciò che'n sua fede era,
vegg'io or chiaro sì, come tu vedi
ogni contraddizion e falsa e vera."
(Par. VI 19-21)

È la famosissima narrazione della conversione di ***Giustiniano*** (482-565) ("Io") ad opera di ***Agapito*** (papa dal 533 al 536) ("li"): "*ciò che io allora accoglievo come materia di fede [la dottrina ortodossa della duplice natura di Cristo], fidando nell'autorità di lui, ora lo vedo con la stessa chiarezza ed evidenza con cui tu intendi che, di due proposizioni che si contraddicono, una è necessariamente vera e l'altra falsa*". Si tratta del "principio del terzo escluso": dati due enunciati dei quali uno è la negazione dell'altro (A e non A) uno è vero e l'altro è falso. Naturalmente, a fianco di questa interpretazione, diciamo classica, se ne possono affiancare altre, diciamo più azzardate, come quella di Bruno d'Amore, docente di Didattica della matematica, che preferisce leggere in questi versi un riferimento al cosiddetto "Metateorema dello Pseudo-Scoto", enunciato nelle *Summulae logicales* di Pietro Ispano, che, come abbiamo accennato, Dante conosceva perfettamente. Secondo tale

teorema, a partire da una contraddizione si può dimostrare qualunque cosa, sia il falso che il vero. Questa seconda interpretazione risulterebbe più coerente con il senso dell'intero passo: mentre il principio del terzo escluso, in quanto postulato, ha ancora teoricamente qualcosa del puro atto di fede, quello dello Pseudo-Scoto è un vero e proprio Teorema, e quindi più vicino alla nuova dimensione dimostrativa e razionale in cui Giustiniano vede la fede cattolica.

Ma questo non è certo l'unico passo in cui Dante dimostra di aver appreso a perfezione le strutture della logica aristotelica, al punto che, nella dimensione ultraterrena del suo oltremondo, le strutture di pensiero della scienza vengono estese a qualunque tipo di realtà, anche nell'ambito della filosofia e della teologia. Ad esempio, nel Cielo del Sole, presentando a Dante l'anima di Sigieri di Brabante, il maggior pensatore della corrente averroistica nel XIII secolo, Tommaso d'Aquino dice di lui:

"Essa è la luce etterna di Sigieri,
che, leggendo nel Vico de li Strami,
silogizzò invidïosi veri. "
(Par. X, 136-138)

Questi versi significano che Sigieri, insegnando ("leggere" era verbo usato a quel tempo per indicare le lezioni universitarie) nella "Via della Paglia" a Parigi, dove sorgevano le scuole di filosofia, "sillogizzò", cioè sostenne con rigorose argomentazione dialettiche dei concetti filosofici che gli avrebbero portato la fama di eretico, facendolo perseguitare da parte del clero parigino. Infatti Sigieri morì ad Orvieto nel 1283, assassinato dal proprio stesso segretario. Tra le idee "eretiche" da lui sostenute vi erano la negazione della creazione dal nulla (*ex nihilo*), dell'immortalità dell'anima e del libero arbitrio. Come si vede, qui Dante usa il verbo "fare sillogismi" come sinonimo stesso di "pensare".

Nel Cielo delle Stelle Fisse Dante è interrogato da San Pietro circa la fede, e gli domanda da chi e come essa gli fu donata. Il poeta replica:

"La larga ploia
de lo Spirito Santo, ch'è diffusa
in su le vecchie e 'n su le nuove cuoia,
è sillogismo che la m'ha conchiusa
acutamente sì, che 'nverso d'ella
ogne dimostrazion mi pare ottusa."
(Par. XXIV, 91-96)

Vale a dire: l'ispirazione, che si effonde come pioggia copiosa ("larga ploia") nelle pagine ("cuoia", perchè fatte di pergamena) del Vecchio e del Nuovo Testamento, è un argomento così efficace e così convincente, che ogni altra dimostrazione al confronto mi pare poca cosa.

È possibile ritrovare in Dante non solo l'allusione al mettere insieme sillogismi, ma un vero e proprio sillogismo? La risposta è sì, anche se ci stupirà. Infatti sembrerà assurdo, ma uno dei personaggi che più fa sfoggio di una logica inoppugnabile nel poema di Dante non è Virgilio, né Beatrice, bensì… un diavolo:

"Francesco venne poi, com'io fu' morto,
per me; ma un de' neri cherubini
li disse: "Non portar: non mi far torto.

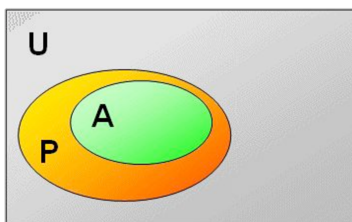


Venir se ne dee giù tra' miei meschini
Perché diede il consiglio fraudolente,
dal quale in qua stato li sono a' crini;
ch'assolver non si può chi non si pente,
né pentere e volere insieme puossi
per la contraddizion che nol consente!"
Oh me dolente! come mi riscossi
quando mi prese dicendomi: "Forse
tu non pensavi ch' io loico fossi"! "
(Inf. XXVII, 112-123)

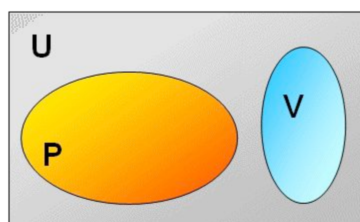
Si tratta della vicenda di Guido da Montefeltro, convinto a peccare gravemente dal papa Bonifacio VIII. Lo sventurato frate francescano narra a Dante la sua tragedia. Il papa lo convince al tradimento ma lo rassicura assolvendolo in anticipo. Guido si lascia convincere, pecca, e poi, anni dopo, muore. A quel punto lo stesso Francesco d'Assisi lo va a prelevare per portarselo in paradiso, come era d'uso per le anime dei fraticelli dell'ordine, quando appare un nero cherubino. Dunque: si svolge una lotta tra Francesco d'Assisi ed uno qualunque dei neri cherubini, e la lotta è a suon di logica. E quel nero cherubino trionfa, trasportandosi la sua preda giù all'Inferno in virtù di un ragionamento schiacciante, un vero e proprio sillogismo di stampo aristotelico. Traducendolo in termini logici, esso suona più o meno così:

- ✓ Ogni pentito può essere assolto.
- ✓ Nessun pentito è peccatore volontario.
- ✓ Quindi Guido non può essere assolto.

Ovvero, con la notazione insiemistica moderna (U=l'insieme universo formato da tutti gli uomini; A=l'insieme degli assolti; P=l'insieme dei pentiti; V=l'insieme dei peccatori volontari):

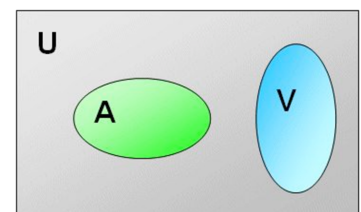


Ogni assolto è un pentito



Nessun pentito è peccatore volontario

quindi:



Nessun assolto è peccatore volontario

La conclusione è talmente inconfutabile sul piano razionale, che l'angelo caduto si permette persino di prendere in giro la sua vittima.

3. L'aritmetica e la teoria dei numeri

Quale e quanta aritmetica conosceva Dante? È ben noto che la Divina Commedia è ricchissima di riferimenti numerologici; ora, però, di fatto, per i calcoli necessari alla numerologia non occorre poi una grande competenza aritmetica. Non è quindi al Dante numerologo che occorre guardare per avere la risposta alla nostra domanda, ma puntare di più l'attenzione sulla presenza di una vera e propria conoscenza aritmetica. Sappiamo che Dante fu scolaro al convento francescano di Santa Croce a Firenze e poi, pare, al

convento domenicano di Santa Maria Novella. Essere scolari a Firenze non era come esserlo in altre città: a Firenze, ed in tutta la Toscana, era possibile avere maestri d'abaco di alto prestigio. Forse Dante, nella sua sete di sapere, viene a contatto con il *Liber abaci* di Leonardo figlio di Bonaccio, il Pisano? Una cosa è certa, Dante è molto attento alla cultura scientifica del suo tempo.

Com'è intuitivo, i primi numeri ad essere ideati ed utilizzati furono i numeri naturali, cioè gli interi senza segno, e Dante è consapevole della loro importanza quando li utilizza addirittura per riferirsi alla Santissima Trinità:

"Quell' uno e due e tre che sempre vive
e regna sempre in tre e 'n due e 'n uno,
non circunscritto, e tutto circunscrive "
(Par. XIV, 28-30)

Dio è colui che vive e regna sempre essendo una sostanza (la divinità), due nature (l'umana e la divina nella persona di Cristo) e tre persone: Padre, Figlio e Spirito Santo.

Un riferimento all'aritmetica si trova in:

"Tu credi che a me tuo pensier mei
da quel ch'è primo, così come raia
da l'un, se si conosce, il cinque e'l sei;"
(Par. XV 55-57)

Sono le celebri frasi che Cacciaguida rivolge a Dante: "*Tu hai ferma convinzione che il tuo pensiero discenda, si riveli direttamente a me da Dio, primo Ente e principio di ogni cosa, cosi come dalla conoscenza dell'unità deriva quella di tutti gli altri numeri*". In tempi moderni si direbbe che, ammessa l'unità, si possono costruire i numeri naturali n, $n+1$, intendendo con ciò tutti i numeri. In effetti, la notazione "n", tipica oggi del matematico, intesa ad indicare un numero qualsiasi, è assai più recente; quel "*il cinque e'l sei*" sta ad indicare numeri generici successivi. Comunque, l'affermazione di Dante si dimostra di non grande rilevanza aritmetica, e lo diciamo anche per evitare di attribuire al sommo poeta anticipazioni sul sistema assiomatico dei numeri naturali, che verrà sviluppato secoli dopo da ***Giuseppe Peano*** (1858-1932).

A proposito di numeri, Dante come indica il concetto di un numero molto grande? E qui arriva la sorpresa: Dante non va mai al di là del concetto di migliaia. Nell'intera Commedia non troverete mai il concetto di "milione" o di "miliardo", in perfetta sintonia con la mentalità medioevale, ancora legata alla numerazione romana. In latino infatti non esiste un termine specifico per indicare i milioni, i miliardi, e così via: per indicare il numero "un milione" gli antichi Romani dicevano "decies centena milia", cioè "dieci centinaia di migliaia". E così, un numero enorme viene reso genericamente dall'Alighieri con "mille" o "più di mille". Vediamone alcuni esempi.

Con il semplice concetto di migliaia viene reso il numero delle ombre dei lussuriosi travolte dalla bufera infernale:

« "Vedi Paris, Tristano"; e più di mille
ombre mostrommi e nominommi a dito,
ch'amor di nostra vita dipartille »
(Inf. V, 67-69)

Quello dei diavoli che tentano di sbarrare a Dante e Virgilio l'ingresso nella Città di Dite:

« Io vidi più di mille in su le porte
da ciel piovuti, che stizzosamente
dicean: «Chi è costui che sanza morte
va per lo regno de la morta gente?»
(Inf. VIII, 82-85)

Quello delle anime degli epicurei nelle arche infuocate, secondo Farinata degli Uberti:

« Dissemi: "Qui con più di mille giaccio:
qua dentro è 'l secondo Federico
e 'l Cardinale; e de li altri mi taccio" »
(Inf. X, 118-120)

L'intensità del frastuono del quale non si accorge l'uomo che pensa molto, espresso in "unità" di "tube", cioè di trombe, raggiunge ovviamente la quota di mille:

« O imaginativa che ne rube
talvolta sì di fuor, ch'om non s'accorge
perché dintorno suonin mille tube »
(Purg. XVII, 13-15)

Quello delle anime beate del Cielo di Mercurio:

« Vid' io ben più di mille splendori
trarsi ver' noi, e in ciascun s'udia:
Ecco chi crescerà li nostri amori »
(Par. V, 103-105)

Naturalmente, il numero dei Beati della Candida Rosa:

« Sì, soprastando al lume intorno intorno,
vidi specchiarsi in più di mille soglie
quanto di noi là sù fatto ha ritorno »
(Par. XXX, 112-114)



E, infine, quello degli angeli festosi che circondano la Vergine Maria:

« E a quel mezzo, con le penne sparte,
vid' io più di mille angeli festanti,
ciascun distinto di fulgore e d'arte »
(Par. XXXI, 130-132)

Molto più interessante, come riferimento aritmetico, è il seguente passo:

"L'incendio suo seguiva ogni scintilla;
ed eran tante, che 'l numero loro
più che 'l doppiar delli scacchi s'immilla."
(Par. XXVIII 91-93)

Ora Dante si trova di fronte a un problema da risolvere: vuole rendere l'immagine di un numero grande, grandissimo, tendente ad

infinito. Che la sua genialità artistica, sempre così strettamente legata al potere visivo delle parole, non si possa accontentare di una qualsiasi banalizzazione dell'immagine è evidente. Una sbrigativa definizione "infiniti" avrebbe costituito qualche serio problema di carattere teologico, oltre a risultare notevolmente meno incisiva per il lettore, la cui fantasia è stimolata dal poter immaginare di contare fino a tale numero. Mentalmente di certo non può arrivarci, ma la sua concreta finitudine lo rende molto più efficace. Dante sceglie dunque di cercare un più azzeccato parallelo proprio nella scienza dei numeri. Qual è dunque il numero degli angeli? Ebbene, Dante afferma che il loro immillarsi supera "il doppiar delli scacchi". È un evidente riferimento alla leggenda di Sissa Nassir, l'inventore degli scacchi. Si narra che Sissa Nassir abbia chiesto al sovrano di Persia, cui aveva fatto dono del nuovissimo passatempo, una ricompensa apparentemente modesta: presa la scacchiera 8x8 del gioco che aveva inventato, il sovrano gli avrebbe dovuto donare solamente qualche chicco di riso. Più precisamente un chicco di riso per la prima casella, il doppio (ovvero due) per la seconda, il doppio ancora (ovvero quattro) per la terza e così via fino alla sessantaquattresima, ultima casella. E' fuori discussione che Dante potesse calcolare il numero risultante, ma era già ben noto che al di là delle apparenze si trattava di una quantità mostruosamente grande, a motivo della vertiginosa crescita di una funzione esponenziale. Per la precisione i chicchi di riso che avrebbe dovuto ricevere erano, approssimativamente, $2 \cdot 10^{19}$. Infatti, si tratta di una progressione geometrica (una successione di numeri tale che il rapporto q tra un termine della successione e il precedente sia costante) di ragione q=2 il cui primo termine vale 1, la cui somma dei primi 64 termini vale proprio il numero totale dei chicchi di grano precedentemente indicato:

1	2	2^{2}	2^{3}	2^{4}	2^{5}	2^{6}	2^{7}
2^{8}	2^{9}	2^{10}	2^{11}	2^{12}	2^{13}	2^{14}	2^{15}
2^{16}	2^{17}	2^{18}	2^{19}	2^{20}	2^{21}	2^{22}	2^{23}
2^{24}	2^{25}	2^{26}	2^{27}	2^{28}	2^{29}	2^{30}	2^{31}
2^{32}	2^{33}	2^{34}	2^{35}	2^{36}	2^{37}	2^{38}	2^{39}
2^{40}	2^{41}	2^{42}	2^{43}	2^{44}	2^{45}	2^{46}	2^{47}
2^{48}	2^{49}	2^{50}	2^{51}	2^{52}	2^{53}	2^{54}	2^{55}
2^{56}	2^{57}	2^{58}	2^{59}	2^{60}	2^{61}	2^{62}	2^{63}

$$S_n = \frac{a_1 \cdot (q^n - 1)}{(q - 1)} = \frac{1 \cdot (2^{64} - 1)}{(2 - 1)} = 2 \cdot 10^{19}$$

Alcuni però ritengono che questo "*immillarsi*" abbia un significato matematico più preciso. Sulla scorta di un'affermazione di Tommaso d'Aquino: «*Multitudo angelorum trascendit omnem materialem multitudinem*» [La moltitudine degli angeli supera ogni moltitudine materiale] (Summa Theologica I, CXII, 4), è possibile che Dante non fosse ancora soddisfatto dell'iperbolico numero rappresentato dal «doppiar de li scacchi», e così abbia pensato di sostituire alle potenze del due le potenze del mille. In tal modo gli angeli invece che raddoppiare si "immillano". Dunque il problema di Sissa Nassir si trasforma in quello di trovare la somma dei primi 64 termini di una progressione geometrica il cui primo termine è 1 e la ragione vale 1000:

$$S_n = \frac{a_1 \cdot (q^n - 1)}{(q - 1)} = \frac{1 \cdot (1000^{64} - 1)}{(1000 - 1)} \cong 10^{189}$$

Un numero decisamente al di là di ogni possibilità di conteggio, dato che la massa in grammi dell'universo oggi conosciuto arriva fino a 10^{58}, e il numero di protoni nell'universo conosciuto giunge fino a 10^{81}. Ancora una volta, l'Alighieri ha dimostrato di saper affiancare l'abilità di maneggiare i numeri all'immancabile creatività linguistica.

4. L'algebra

Nell'opera dantesca non si trovano diretti riferimenti alla risoluzione di equazioni, eppure non ci sarà difficile trovare persino l'algebra. Quanto infatti il poeta e Beatrice giungono nel Primo Mobile, così la seconda spiega al primo:

« Non è suo moto per altro distinto,
ma li altri son mensurati da questo,
sì come diece da mezzo e da quinto »
(Par. XXVII, 115-117)

Cioè: il movimento del Primo Mobile non è determinato dal movimento di qualcos'altro, ma tutti gli altri moti ricevono la loro misura da esso, e si ragguagliano ad esso così come il dieci è misurato (ottenuto tramite moltiplicazione) dalla sua metà e dalla sua quinta parte. Dante, per esprimere la sincronizzazione dei moti delle sfere celesti con quello del Primo Mobile ricorrere ad una similitudine matematica. E qual è il numero che è "misurato" in tal modo dal suo mezzo e dalla sua quinta parte? Indichiamo tale numero con x. La sua metà è $x/2$, la sua quinta parte è $x/5$, dunque se ne ricava l'equazione:

$$\frac{x}{2} \cdot \frac{x}{5} = x \quad \rightarrow \quad x^2 - 10x = 0 \quad \rightarrow x(x-10) = 0 \quad \rightarrow \quad x_1 = 0 \quad x_2 = 10$$

La prima è ovviamente non accettabile; se ne conclude così che l'unico numero "misurato" dalla sua metà e dalla sua quinta parte è proprio il "*diece*". Come volevasi dimostrare.

5. Il calcolo delle probabilità

« Quando si parte il gioco de la zara,
colui che perde si riman dolente,
repetendo le volte, e tristo impara;
con l'altro se ne va tutta la gente;
qual va dinanzi, e qual di dietro il prende,
e qual dallato li si reca a mente;
el non s'arresta, e questo e quello intende;
a cui porge la man, più non fa pressa;
e così da la calca si difende.
Tal era io in quella turba spessa,
volgendo a loro, e qua e là, la faccia,
e promettendo mi sciogliea da essa. »
(Purg. VI, 1-12)



Dante e Virgilio devono districarsi a fatica dalla ressa delle anime dei negligenti periti di morte violenta, che si affollano intorno a loro come i postulanti che fanno cerchio intorno a chi esce vittorioso dal gioco d'azzardo, invocando da quel vivente preghiere e suffragi perché venga abbreviata la loro permanenza nell'Antipurgatorio. In questi versi alcuni commentatori hanno voluto riconoscere un primo abbozzo di calcolo delle probabilità: dall'atteggiamento del giocatore perdente che riflette sulla frequenza delle uscite di certi

numeri, emerge il concetto embrionale di frequenza di un evento casuale. Ma la probabilità, scienza moderna per eccellenza, doveva ancora del tutto costituirsi come tale ai tempi di Dante, per cui è azzardato scorgere in questo passo un'anticipazione della teoria della probabilità, quella che più tardi ***Cardano*** (1501-1576), Galilei, ***Fermat*** (1601-1665) ma soprattutto ***Pascal*** (1623-1662) affronteranno in modo corretto e consapevole. Non basta parlare di un gioco di dadi per farne un'analisi matematica significativa.

Se al tempo di Dante un calcolo esatto delle probabilità non esisteva ancora, sicuramente esistevano già conoscenze empiriche intorno alle probabilità che si avevano di vincere giocando ai dadi in un certo modo, come il gioco della zara, diffusissimo nel Trecento. Si giocava gettando tre dadi e tentando di indovinare i numeri risultanti dalle loro possibili combinazioni. I numeri sotto il 7 e al di sopra del 14, erano considerati nulli.
Se definiamo la frequenza di un evento casuale nel seguente modo:

$$frequenza = \frac{numero\ eventi\ favorevoli}{numero\ eventi\ possibili}$$

si ricava che il 10 e l'11 sono i numeri che hanno probabilità maggiori di uscire, mentre il 3 e il 18 hanno quella minore. Dante, con i versi suindicati, intende dunque dirci che, quando ha termine ("si parte") il gioco della zara, il perdente rimane addolorato e cerca di imparare a fare meglio la prossima volta, ripassando nella memoria le cattive puntate che ha fatto, e quelle buone che non ha fatto, mentre tutti se ne vanno (naturalmente) con il vincitore, sperando di approfittare della sua euforia e della sua generosità.

6. La geometria

Nel 1175 ***Gherardo da Cremon***a (1114-1187) traduce dall'arabo al latino gli *Elementi* di Euclide, ma già mezzo secolo prima ***Abelardo da Bath*** lo aveva fatto. Dunque lo studio della geometria di Euclide, intesa come rigoroso sistema assiomatico-deduttivo, in cui la verità o falsità delle affermazioni discendono deduttivamente da determinati assiomi e teoremi, non si poteva praticare se non si avevano alle spalle studi approfonditi. E Dante questi studi li aveva praticati se non altro per aver intrapeso lo studio di Aristotele che portava necessariamente a fare i conti con la geometria.

Una prima prova la troviamo nel seguente passo, dove Dante decide di far ricorso al concetto tutto euclideo di punto geometrico (inteso come ente primitivo che intuitivamente equivale ad un'entità adimensionale spaziale):

« Un punto vidi che raggiava lume
acuto sì, che 'l viso ch'elli affoca
chiuder conviensi per lo forte acume;
e quale stella par quinci più poca,
parrebbe luna, locata con esso
come stella con stella si collòca.
(Par. XXVIII, 16-21)

Quel punto emette una luce tanto intensa, che l'occhio da esso scottato è costretto a chiudersi per l'insostenibile luminosità da esso irraggiata; eppure, a Dante appare così piccolo che qualsiasi stella appaia minuscola ("poca") ai nostri occhi, sembrerebbe grande come la luna piena, se fosse posta vicina ad essa. Il punto euclideo è privo di dimensioni, quindi indivisibile e immateriale, e dunque secondo Dante è il simbolo più appropriato di

Dio, sulla scorta di un passo di San Tommaso: *«Ens omnino simplex, maxime Ens et maxime Indivisum» [Ente assolutamente semplice... sommamente Ente e sommamente Indivisibile]* (Summa Theologica I, III, 7 e I, XI, 3)

Ma Dante non limita certo le proprie conoscenze di geometria all'utilizzo di un mero concetto in senso allegorico. Tanto per cominciare, egli sa utilizzare gli strumenti propri della geometria, come ad esempio il compasso. Infatti nel canto XIX del Paradiso l'Aquila formata dai beati nel Cielo di Giove usa questa circonlocuzione per riferirsi a Dio:

« ...Colui che volse il sesto
a lo stremo del mondo, e dentro ad esso
distinse tanto occulto e manifesto... »
(Par. XIX, 40-42)

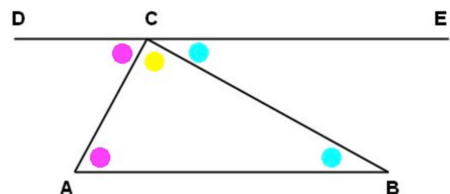
Quel "sesto" è proprio il compasso perché poteva essere aperto fino ad un sesto di cerchio, cioè fino a 60°. Si noti che, attraverso quest'immagine, il Signore è rappresentato proprio come un geometra, che traccia i confini ("lo stremo") del mondo esattamente come un architetto fa con l'edificio che deve costruire, ordinandovi tutte le cose occulte e tutte le cose manifeste.

Spostiamoci ora in uno dei canti emotivamente più intensi della Divina Commedia, il XVII del Paradiso, in cui Dante incontra il suo antenato "piota" (radice) Cacciaguida, al quale intende dirgli che lo vede così elevato, così in alto con il suo spirito che, come le menti umane vedono con assoluta certezza che in un triangolo non possono starci due angoli ottusi, così lui vede le cose del futuro prima che avvengano:

«O cara piota mia, che sì t'insusi,
che come veggion le terrene menti
non capere in triangol due ottusi,
così vedi le cose contingenti
anzi che sieno in sé, mirando il punto
a cui tutti li tempi son presenti»
(Par. XVII, 13-18)

L'immagine è a dir poco stupenda, una specie di big bang temporale, un punto di assoluta contemporaneità, prima dell'inizio della freccia temporale. Ancora una volta, dovendo dare un esempio di impossibilità logica, Dante ricorre ad un esempio geometrico, il teorema XVII del I libro degli *Elementi* di ***Euclide*** (323 a.C.-285 a.C.), enunciato ben 17 volte nelle opere di Aristotele e dimostrato per intero nella *Metafisica*, enunciato ma non dimostrato da Boezio. Vediamone da vicino la dimostrazione. Il famoso Quinto Postulato di Euclide, nella formulazione moderna, dice:

Per un punto fuori di una retta passa una e una sola retta parallela alla retta data



Da questo assioma è facile risalire alla formulazione che chiama in causa il triangolo. Si consideri infatti la figura. Dato il triangolo ABC, per C si conduca l'unica parallela ad AB permessa dal Quinto Postulato. Gli angoli BAC ed ACD (in viola) sono tra loro congruenti perchè angoli alterni interni delle rette parallele AB e CD tagliate dalla trasversale AC, come pure gli angoli ABC e BCE (in azzurro) sono alterni interni delle rette parallele AB e CE tagliate dalla trasversale BC. Ne consegue che: ABC + BCA + BAC = ECB + BCA + ACD = 180°

Se dunque la parallela tracciata da un punto esterno ad una retta è unica, allora la somma degli angoli interni di un triangolo è pari ad un angolo piatto. Siccome due angoli ottusi sono entrambi maggiori di 90°, la loro somma sarà maggiore di 180°, e quindi in un triangolo due ottusi non potranno mai *«capere»*, cioè essere contenuti.

È una delle più unanimemente accettate qualità della matematica quella cui il nostro autore si appiglia in questi versi: l'insindacabile certezza dei suoi teoremi, che per Dante assurge a simbolo del massimo livello di verità che la mente umana può concepire. Con la stessa sicurezza con cui l'uomo è in grado di dimostrare che in un triangolo non possono convivere due angoli ottusi, altrettanto Dante è certo che il beato Cacciaguida è in grado di vedere passato, presente e futuro. Anzi, l'immagine che Dante Alighieri ci comunica è ancora più raffinata: nella fantasia del lettore si affiancano infatti due figure di segno opposto. Da un lato il triangolo che nella finitudine dell'angolo piatto non può contenere i due eccessivamente aperti angoli ottusi; dall'altro il simbolo per eccellenza della finitudine, il punto, che invece riesce ad accogliere in sé l'infinito e l'eternità. È lo scacco della ragione umana, l'abisso incolmabile tra finito e infinito, che Dante riesce ad esprimere proprio usando la scienza che ai suoi tempi in massimo grado rappresentava il trionfo delle capacità logico-deduttive umane, la geometria.

Come a sottolineare l'incontrovertibilità dei teoremi della geometria come simbolo dell'incontrovertibile vittoria dell'onnipotenza divina nei cieli del Paradiso, pochi versi più avanti Dante aggiunge:

«dette mi fuor di mia vita futura
parole gravi, avvegna ch'io mi senta
ben tetragono ai colpi di ventura»
(Par. XVII, 23-24)

La certezza che infonde la scienza non è solo desunta dall'infallibilità dei suoi ragionamenti, ma a un livello più intuitivo sono le sue forme stesse a suggerirlo. E chi non vorrebbe affrontare gli sferzanti colpi del destino con la sicura stabilità di un rettangolo? Infatti il tetragono è, come dice l'etimologia greca, ogni figura geometrica con quattro angoli, proprio come una fortezza medioevale di forma rettangolare.

In modo analogo un concetto matematico assai noto era già stato utilizzato da Dante quattro canti prima:

« Non ho parlato sì, che tu non posse
ben veder ch'el fu re, che chiese senno
acciò che re sufficïente fosse;
non per sapere il numero in che enno
li motor di qua sù, o se necesse
con contingente mai necesse fenno;
non si est dare primum motum esse,
o se del mezzo cerchio far si puote
trïangol sì ch'un retto non avesse »
(Par. XIII, 94-102)

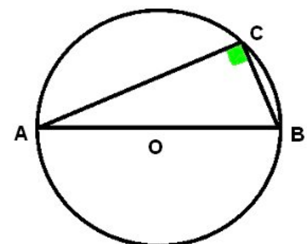
Il testo sembra un po' difficile, in accordo con il tono alto e concettoso di tutto il Paradiso, ma in pratica il suo significato è il seguente. A parlare è San Tommaso d'Aquino, il quale intende sciogliere un dubbio di Dante già enunciato nel canto XI e rimasto fin qui insoluto, giacché, parlando di Salomone, l'aquinate aveva affermato:

« entro v'è l'alta mente u' sì profondo
saver fu messo, che, se 'l vero è vero,
a veder tanto non surse il secondo »
(Par. X, 112-114)

Non è da ritenere che la perfezione della sapienza umana sia stata assegnata prima ad Adamo e poi a Gesù in quanto uomo, e che pertanto sia da ritenere erronea la tradizionale opinione che considera re Salomone il più sapiente tra gli uomini? La risposta di San Tommaso si sviluppa ampiamente, come si conviene al massimo teologo della Scolastica, e la prende alla larga, cominciando con la dimostrazione della verità della perfetta sapienza di Adamo e dell'uomo-Dio: solo gli esseri creati direttamente da Dio sono perfetti, dotati della maggior perfezione possibile in una creatura, e tali furono appunto Adamo nel Paradiso Terrestre, e il Verbo incarnato e fatto uomo. Successivamente Tommaso dimostra la verità dell'eccellenza del sapere di Salomone, affermando che essa non si riferisce ad argomenti metafisici o dialettici, ma solo alla prudenza del governo, in quanto il figlio di Davide fu il più sapiente dei re della Terra. Non ho parlato così oscuramente, dice Tommaso a Dante, che tu non possa comprendere che io mi riferivo a Salomone in quanto re, ed egli chiese a Dio la Sapienza solo per poter espletare questo alto ufficio, pur essendo giovane e inesperto. I versi 97-102 del canto XIII, da noi riportati sopra, enunciano una serie di problemi filosofici e scientifici attinenti a quel tipo di sapienza che Salomone non chiese e non ottenne dal Signore, essendo superflua al compito che gli era stato assegnato. I problemi enunciati sono, nell'ordine:

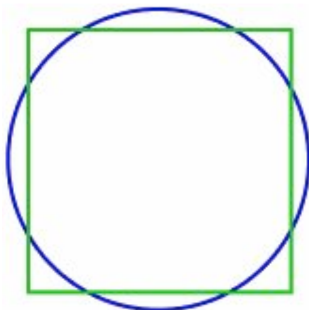
1. quante siano le Intelligenze Motrici, problema che Dante affronta nel Convivio (II, IV, 3-15) e in Paradiso XXVIII, 92-93 (i versi di cui abbiamo già parlato a proposito del "doppiar degli scacchi")
2. se da una premessa necessaria e da una contingente si possa dedurre una conclusione necessaria: questione schiettamente filosofica, confutata da Aristotele negli *Analitici Primi* (I, 16)
3. se si deve ammettere nell'universo un primo moto che non sia effetto di un altro moto, e dal quale tutti dipendono (« si est dare primum motum esse »). La risposta la fornisce lo stesso Tommaso nella sua opera: *Tutto ciò che si muove, è necessario che sia mosso da altro... Non si può qui procedere all'infinito... è necessario dunque pervenire a un primo motore, che non è mosso da nessuno: e questo tutti lo chiamiamo Dio (Summa Theologica I, II, 3)*
4. e finalmente, se in un semicerchio possa essere inscritto un triangolo che non sia rettangolo. Questa questione è prettamente geometrica, come quella dei due angoli ottusi in un triangolo, ed infatti è dimostrabile secondo gli insegnamenti di Euclide.

Con facili passaggi è possibile dimostrare che ogni angolo alla circonferenza è pari alla metà dell'angolo al centro che insiste sullo stesso angolo. Se costruiamo un triangolo ABC inscritto in una semicirconferenza, come si vede nella figura soprastante, l'angolo alla circonferenza ACB sarà pari alla metà dell'angolo al centro AOB, che è piatto; dunque ACB=90°. La risposta alla quarta questione è perciò negativa: nessun triangolo che non sia rettangolo può essere inscritto nel « mezzo cerchio ».



Quattro sono dunque le forme più alte di Sapienza che Tommaso riconosce, distinte da quella necessaria per governare. Si tratta della Teologia, della Dialettica, della Filosofia e, appunto della Geometria.

Tuttavia il più famoso riferimento alla geometria contenuto nella Divina Commedia è molto probabilmente quello che si trova solo pochi versi prima della fine del poema e riguarda uno dei problemi più dibattuti nella storia della matematica: quello dell'esatta misura della circonferenza. La questione di misurare con esattezza il rapporto tra circonferenza e diametro ($C=2\pi r \rightarrow \pi=C/2r$), da noi universalmente indicato con il simbolo π (pi greco), risale alle origini della geometria, e ha tenuto occupati i matematici per secoli. La più antica documentazione esistente di questo problema risale al *Papiro di Rhind*, nel quale per π si trova il valore 3,16049, che si discosta meno dell'1% dal vero valore. Il primo pensatore greco a cercare di trovare un rapporto definitivo fra un cerchio e un quadrato fu ***Anassagora di Clazomene*** (496-428 a.C.), autore del primo tentativo di quadratura del cerchio con riga e compasso, mentre ***Archimede*** (287-212 a.C.), dal confronto di una serie di poligoni regolari inscritti e circoscritti provò che: $223/71<\pi<22/7$. Nel 1220 ***Fibonacci*** (1170-1240), uno dei massimi matematici del Medioevo, trovò con il metodo di Archimede il valore 3,141818. Il vicario ***William Oughtred*** (1575-1660) fu il primo ad usare la lettera pi greca per indicare il rapporto costante tra circonferenza e diametro. Nel 1665 ***Newton*** (1642-1727) introdusse il calcolo infinitesimale e calcolò π fino alla sedicesima cifra decimale. Solo nel 1761 ***Johann Heinrich Lambert*** (1728-1777) dimostrò che π è un numero irrazionale, e dunque è privo di frazione generatrice: circonferenza e diametro sono dunque grandezze incommensurabili. ***Eulero*** (1707-1783) ipotizzò che π fosse anche trascendente, cioè che non potesse essere soluzione di alcuna equazione a coefficienti interi. La dimostrazione definitiva della trascendenza di π la si deve al tedesco ***Ferdinand von Lindemann*** (1852-1939) nel 1882. Ciò esclude che sia possibile rettificare la circonferenza e quadrare il cerchio con il solo uso di riga e compasso, come speravano tutti i matematici da Archimede fino alla soglia dell'età moderna. Il record di cifre per il π spetta a Yasumasa Kanada, che nel 2002 calcolò 1.241,1 miliardi di cifre grazie a 25 giorni di lavoro con un computer Hitachi SR8000/MPP a 64 nodi. Nel suo romanzo *Contact* (1985), lo scienziato ***Carl Sagan*** (1934-1996) ha immaginato che da un certo punto in poi le cifre di π siano tutte zeri ed uni, e che, disponendo tali cifre in una matrice quadrata, gli uni disegnino appunto un cerchio, "la firma dell'artista", cioè l'impronta del creatore nella sua creazione.



Dante, a giudicare da quanto dice alla fine del proprio viaggio ultraterreno, sembra avere sentore del fatto che questa sorta di "corsa alle cifre decimali di π", iniziata agli albori della storia umana, avrebbe rappresentato una sfida per i matematici di ogni epoca:

« Qual è il geometra che tutto s'affige
per misurar lo cerchio, e non ritrova,
pensando, quel principio ond'elli indige,
tal era io a quella vista nova;
veder volea come si convenne
l'imago al cerchio e come vi si indova »
(Par. XXXIII, 133-138)

Sembra di vederlo, questo geometra del Medioevo, che combatte con i calcoli («tutto s'affige», un verbo che dà proprio l'immagine dello spremersi le meningi) allo scopo di misurare il cerchio, eppure non riesce a trovare il principio di cui manca (latino "indiget") per risolverlo, vale a dire proprio il nostro .

Il riferimento all'impossibile quadratura del cerchio nell'ultimo canto del Paradiso, ovviamente, non è casuale. Al sommo dell'Empireo Dante si trova di fronte a Dio stesso. Grazie alle preghiere di San Bernardo, la Vergine Maria ha acconsentito che Dante potesse spingere il suo sguardo fin dentro il mistero altissimo della trinità divina. E così, man mano che la sua vista si potenziava, Dante ha visto apparire il Padre, il Figlio e lo Spirito Santo sotto forma di tre cerchi (ecco perchè la similitudine del geometra non è scelta a caso), *«di tre colori e d'una contenenza»* (Par. XXXIII, 117), cioè di diverso colore ma di uguale raggio, perchè le tre persone della santissima trinità sono della stessa natura ma diverse nei loro attributi. Ad una osservazione ancora più acuta, *«la circulazion che sì concetta/pareva in Te come lume reflesso»* (Par. XXXIII, 127-128), cioè il cerchio del Figlio che viene generato dal Padre come il riflesso generato da uno specchio, appare a Dante dipinto dentro di sé, del suo stesso colore, con l'immagine dell'uomo. È questo il mistero dell'incarnazione, che Dante con le sole forze della sua ragione non può riuscire a penetrare, esattamente come il geometra non riuscirà mai a rettificare il cerchio. Ciò che Dante vuole trasmettere al lettore è il vero e proprio dramma dell'intellettuale, che "tutto s'affige", tenta e ritenta, ma deve ad un certo punto ammettere i limiti delle proprie capacità razionali. Dante ha capito che la sola razionalità dell'uomo non può consentirgli di raggiungere le verità ultime, ha sperimentato il profondo scoramento che deriva dalla scoperta di questo limite umano, e lo ricorda in più passi della commedia, dall'innegabile simpatia che prova nei confronti di Ulisse *("fatti non foste a viver come bruti, ma per seguir virtute e canoscenza"*) fino a quest'ultima sofferta visione del geometra che si affanna dietro l'impossibile. Evidentemente Dante vedeva nella matematica e nella geometria il più alto grado di perfezione raggiungibile dalla sola ragione umana: che essa giunga al fallimento e debba essere superata è insito nel limite dell'uomo e nulla toglie al valore della speculazione scientifica.

CAPITOLO 3

DANTE FISICO

1. Introduzione

Chi si occupa di scienza e si imbatte nel percorso della Divina Commedia scopre che Dante dimostra una sorprendente attenzione alla descrizione dei fenomeni naturali, dal movimento degli astri, al moto relativo, fino alle molteplici manifestazioni associate alla luce. Così, ad esempio, uno dei fenomeni più spettacolari che ha per protagonista la luce, l'arcobaleno, viene descritto nel Purgatorio:

E come l'aere, quand'è ben pïorno,
per l'altrui raggio che 'n sé si reflette,
di diversi color diventa addorno.
(Pur XXV 91-93)

e ciò che risalta è il fatto che Dante accenni anche al meccanismo fisico che causa il fenomeno.

Ovviamente, l'atteggiamento scientifico di Dante nei confronti del mondo naturale e delle sue manifestazioni, è ben diverso dalla nostra mentalità moderna: per noi la descrizione quantitativa del fenomeno fisico è rigidamente separata da qualunque forma espressiva della sua bellezza ed eventualmente del suo significato. Oggi non ci verrebbe mai in mente, scrivendo un articolo scientifico, di concederci un cenno alla bellezza dell'oggetto di indagine, né in un testo poetico di dare una descrizione rigorosa di un fenomeno fisico in questione. Comunque, l'esempio appena accennato, e tutti gli altri che faremo nel corso del capitolo, sono sufficienti a far sorgere la domanda: da dove viene l'attenzione profonda e meticolosa che Dante dimostra di avere nei confronti del mondo naturale? Qual è l'origine del suo sguardo unitario, curioso del dettaglio e, al tempo stesso, teso alla totalità dell'oggetto, fino al suo significato? Dante scrive:

"…Le cose tutte quante
hanno ordine tra loro, e questo è forma
che l'universo a Dio fa simigliante
Qui veggion l'alte creature l'orma
de l'etterno valore, il qual è fine
al quale è fatta la toccata norma.
Nell'ordine ch'io dico sono accline
tutte nature, per diverse sorti,

più al principio loro ve men vicine."
(Par. I 103-111)

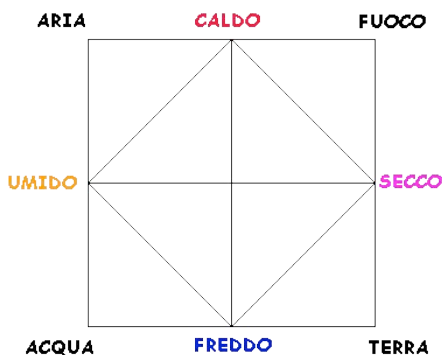
Per Dante le cose, tutte le cose, hanno ordine tra loro, e sono concausate tra loro. Questo è un principio ardito, profondo, generativo; la luna, le stelle, ogni oggetto fisico e ogni creatura è voluta in un ordine cosmico: la natura è compaginata in funzione di uno scopo. La sapienza con cui le cose sono fatte porta in sé il segno del creatore. Ogni cosa, ogni particolare è significativo in quanto in esso risplende la scintilla della causa prima ed incausata, il creatore, e per questo è degno di essere osservato e conosciuto. Si tratta di un pensiero potente, un pensiero necessario al sorgere e al primo sviluppo della scienza moderna, purchè si sostituisca, scientificamente parlando, al termine creatore una causa fisica.

2. La meccanica

In questa sezione ci dedicheremo alle conoscenze di Meccanica che Dante ha inserito nel proprio poema. La meccanica è quella branca della fisica che si occupa dello studio dei moti, e intorno all'anno 1300 il massimo autore che si era preoccupato di problemi connessi a tale studio era ancora Aristotele, anche se cominciavano ad esserci le prime timide critiche al principio d'autorità. Naturalmente Dante non può fare a meno di rendere omaggio al suo riferimento filosofico, e lo fa ponendolo nel limbo insieme agli "*spiriti magni*" dell'antichità pagana, in posizione preminente rispetto a tutti gli altri:

« Poi ch'innalzai un poco più le ciglia,
vidi 'l maestro di color che sanno
seder tra filosofica famiglia.
Tutti lo miran, tutti onor li fanno »
(Inf. IV, 130-133)

Secondo Aristotele, lo scopo della fisica è quello di spiegare, non solo come il mondo risulti costituito, ma perché esso risulti costituito proprio così e non in altro modo. Inoltre si tratta di una scienza qualitativa e non quantitativa, cioè non usa la matematica come linguaggio per esprimere i concetti, a differenza di quella di Galileo. Aristotele eredita da Empedocle la teoria dei quattro elementi: terra, acqua, aria e fuoco, i quali, miscelati in proporzioni diverse, darebbero vita a tutta la realtà sensibile; per la teoria atomica in questa visione dell'universo non c'è dunque posto. I quattro elementi tuttavia, anziché realtà fisiche come gli atomi democritei, sono intesi piuttosto come modi di essere. Dante naturalmente assorbe immediatamente questo concetto, ad esempio nel discorso seguente di Beatrice:



« Tu dici: "Io veggio l'acqua, io veggio il foco,
l'aere e la terra e tutte lor misture
venire a corruzione, e durar poco..." »
(Par. VII, 124-126)

Infatti questi elementi secondo Aristotele sono corruttibili, a differenza dell'etere, elemento perfetto, purissimo, imperituro, non trasformabile e non generabile, di cui sono costituiti gli spazi circostanti il nostro mondo. Il filosofo di Stagira giustifica, con argomenti a priori, perché gli elementi debbano essere proprio quattro. La terra è l'elemento freddo e secco, e per sua spontanea natura tende verso il basso, come vuole la teoria dei luoghi naturali secondo cui ogni elemento ha nell'universo un suo luogo naturale verso cui dirigersi; essa deve essere controbilanciata dal suo elemento contrario, il fuoco, che è caldo e secco, e tende spontaneamente verso l'alto. Fra essi devono esistere altri due elementi con funzioni mediatrici: l'acqua, fredda e umida, e l'aria, calda e umida. Per terra ed acqua il moto naturale è verticale verso il basso, per aria e fuoco è verticale verso l'alto; in tal modo Aristotele spiega la caduta dei gravi senza bisogno di far ricorso ad alcuna teoria di gravitazione universale e ad alcuna azione a distanza. Dante possiede il concetto di centro di gravità del pianeta Terra, perchè così lo definisce nel terzultimo canto dell'Inferno:

« E mentre ch'andavamo inver' lo mezzo
al quale ogne gravezza si rauna »
(Inf. XXXII, 73-74)

e così invece nell'ultimo:

« quand'io mi volsi, tu passasti 'l punto
al qual si traggon d'ogne parte i pesi. »
(Inf. XXXIV, 110-111)

Ma esso non è il centro di un campo di forze, bensì solo il punto geometrico verso il quale si dirige il moto naturale di due dei quattro elementi corruttibili che costituiscono tutto il mondo sublunare. Per gli altri due il luogo naturale sono le sfere celesti: il vapore, ad esempio, tende ad allontanarsi dal centro della Terra dirigendosi verso lo spazio e verso la Luna, per via del prevalere del fuoco nel miscuglio di acqua e fuoco che lo compone. L'acqua calda ancora allo stato liquido invece non contiene abbastanza fuoco per essere portata verso l'alto, e quindi tende a ricadere verso il centro della Terra. Ne consegue che il mondo, secondo Aristotele, ha una struttura a quattro sfere concentriche: una più interna costituita di terra, una di acqua, una d'aria e una di fuoco.

Dalla teoria dei luoghi naturali Aristotele ricava anche l'unicità del mondo, infatti, ogni porzione di terra, di acqua, di aria, di fuoco tende naturalmente alla sua sfera, e perciò nel globo sublunare devono essersi concentrate tutta la terra, l'acqua, l'aria e il fuoco a disposizione dell'universo; non avanza quindi alcun residuo di tali elementi per formare altri mondi.

Se l'etere è una realtà immutabile, in contrapposizione alla Terra, mutevole e corruttibile, allora esistono due scienze fisiche: una riguarda il mondo sublunare, caratterizzata da moti verticali; l'altra, invece, vale solo nello spazio esterno, ed è dominata dal moto circolare uniforme, perchè tale sarebbe il moto naturale della quintessenza. Infatti, i moti dei corpi celesti nella cosmologia dantesca sono tutti rappresentabili come una composizione di moti circolari uniformi, il moto più perfetto in natura.

Dante accetta le teorie aristoteliche, e Beatrice le espone in modo chiarissimo al principio dell'ascesa di Dante verso l'Empireo:

« E cominciò: "Le cose tutte quante
hanno ordine tra loro, e questo è forma

che l'universo a Dio fa simigliante.
Qui veggion l'alte creature l'orma
de l'etterno valore, il qual è fine
al quale è fatta la toccata norma.
Ne l'ordine ch'io dico sono accline
tutte nature, per diverse sorti,
più al principio loro e men vicine;
onde si muovono a diversi porti
per lo gran mar de l'essere, e ciascuna
con istinto a lei dato che la porti.
Questi ne porta il foco inver' la luna;
questi ne' cor mortali è permotore;
questi la terra in sé stringe e aduna" »
(Par. I, 103-117)

Vediamo di riassumere il discorso di Beatrice. Tutte le creature sono ordinate fra di loro, in modo da costituire un tutto armonico, e questo ordine rappresenta la "forma", cioè il principio essenziale che rende l'universo simile a Dio. Come diceva infatti Tommaso d'Aquino: *"Tutte le cose infatti che procedono da Dio, sono ordinate fra di loro e rispetto a Dio" (Summa Theologica I, XLVII, 3)*. Come si vede, lo sguardo di Dante coglie ogni cosa nello splendore e nell'ordine del suo essere, e per questo è simbolo di quell'infinito che l'uomo continuamente ricerca. In questo ordine le creature dotate di un intelletto superiore (le "alte creature") riconoscono il segno della potenza e della sapienza del creatore, il quale è il fine ultimo a cui tende "la toccata norma" dell'universo. Tutte le specie naturali ("nature") sono allora inclinate ("accline") in modo diverso ("per diverse sorti"), secondo le condizioni loro assegnate, essendo esse più o meno vicine al loro comune principio, che è Dio; e così, nella brulicante e sconfinata vita dell'universo ("lo gran mar de l'essere"), tutte si muovono in differenti direzioni ("porti"), stimolata ciascuna dal suo particolare istinto. Anche qui si sente l'eco di un passo di San Tommaso: *"Poiché tutte le cose procedono dalla Volontà di Dio, tutte a loro modo sono inclinate a desiderare il bene, ma in maniere diverse"* (Summa Theologica I, LIX, 1).

Questo ordine istintivo è quello che porta il fuoco a salire naturalmente verso la sua sfera, cioè in direzione del Cielo della Luna; questo ordine muove e regola ("è permotore") le funzioni vitali negli esseri privi di ragione ("i cor mortali"); questo ordine, infine, esplicandosi come forza di gravità, tiene unita e compatta la Terra. Veramente a volte la materia può andare in direzione contraria alla sua naturale inclinazione, ma si tratta di una mostruosità, di un traviamento, di un'evidente violazione delle leggi naturali. Infatti poco dopo Dante aggiunge:

« Vero è che, come forma non s'accorda
molte fiate a l'intenzion de l'arte,
perch'a risponder la materia è sorda,
così da questo corso si diparte
talor la creatura, c'ha podere
di piegar, così pinta, in altra parte;
e sì come veder si può cadere
foco di nube, sì l'impeto primo
l'atterra torto da falso piacere. »
(Par. I, 127-135)

In altre parole: come accade che all'intenzione dell'artista non sempre corrisponda la forma dell'opera da lui realizzata, per colpa della materia che non è disposta a tradurla in atto, allo stesso modo talvolta la creatura si allontana dall'inclinazione naturale ("da questo corso"), che è libera, per quanto indirizzata istintivamente al bene ("così pinta", cioè così spinta), di fuorviarsi e di volgersi al male. Come talvolta il fuoco, che tenderebbe naturalmente a salire, cade invece sulla Terra sotto forma di fulmine, così la primitiva inclinazione, che porterebbe l'uomo a salire verso il Cielo, lo rivolge invece verso la Terra ("l'atterra"), traviata da una falsa immagine di bene. Si noti che Dante crede erroneamente che il fulmine sia fatto di fuoco vivo, mentre sappiamo che si tratta di un fenomeno di natura elettrica.

Da notare che, poiché Aristotele poneva al centro della sua teoria il mezzo, egli non poteva accettare il concetto di vuoto, centrale invece nella teoria atomistica di ***Democrito*** (460-370 a.C.): essendo uno spazio vuoto privo di qualsiasi sostanza, e potendo il moto, secondo Aristotele, verificarsi solo attraverso un mezzo, l'assenza di sostanza era un'idea inconcepibile. Le teorie atomistiche di Democrito vengono decisamente contrastate dallo stesso Dante, poiché il filosofo di Abdera rifiutava il concetto di moto naturale e di luoghi naturali, e quindi in ultima analisi, come visto, di provvidenza divina che tutto finalizza al bene ultimo delle cose. Per Democrito il moto degli atomi è assolutamente casuale, per caso essi si aggregano e altrettanto per caso essi si disgregano; ed infatti, incontrandolo nel Limbo subito dopo Aristotele, Socrate e Platone, l'Alighieri così lo ha apostrofato:

« Democrito che 'l mondo a caso pone »
(Inf. IV, 136)

Ritornando alla forza di gravità, c'è un interessante particolare da analizzare. Dopo la spaventosa visione di Lucifero dalle tre teste, Virgilio annuncia che:

« è da partir, ché tutto avem veduto »
(Inf. XXXIV, 69)

ed invita Dante ad avvinghiarsi al suo collo; quindi, quando le ali sono aperte in posizione favorevole, con un salto il poeta mantovano si appiglia al busto peloso del demonio, e inizia a scendere di vello in vello. Arrivato al punto dove le cosce si attaccano alle anche, Virgilio compie un'operazione che a prima vista Dante non comprende: si gira nella direzione in cui Lucifero ha le zanche (le gambe) e ricomincia a salire:

« Lo duca, con fatica e con angoscia,
volse la testa ov'elli avea le zanche,
e aggrappossi al pel com'om che sale,
sì che 'n inferno i' credea tornar anche.
"Attienti ben, ché per cotali scale",
disse 'l maestro, ansando com'uom lasso,
"conviensi dipartir da tanto male." »
(Inf. XXXIV 78-84)

In tal modo, i due poeti sorpassano il centro della Terra ed entrano nell'emisfero australe, cosicché la gravità è inversa, e Virgilio deve risalire. Colpisce quel «*con fatica e con angoscia*», e lo sapete perchè? All'epoca di Dante si era convinti che, man mano ci si avvicina al centro della Terra, la gravità andasse aumentando, e dunque Virgilio avrebbe

dovuto compiere uno sforzo sovrumano per voltarsi e poi per risalire. Apparentemente la legge della gravitazione universale di Newton afferma la stessa cosa: la forza di gravità è inversamente proporzionale al quadrato della distanza (e direttamente proprorzionale al prodotte delle due masse che interagiscono), e quindi, dimezzando la distanza fra due masse, la loro forza di attrazione quadruplica. Ma ciò vale tra due masse puntiformi. Quando ci si trova al centro della Terra, si è circondati in ogni direzione da masse equivalenti di roccia, disposte con simmetria sferica, e quindi, se una di queste masse ci attira in una direzione, la massa ad essa simmetrica ci attira con la stessa forza in direzione contraria. Conclusione: la gravità al centro della Terra è nulla, e Virgilio non dovrebbe fare alcuna fatica a girarsi, né tantomeno ansimare mentre avvisa il suo discepolo che quella è l'unica scala con cui abbandonare la voragine infernale.

Venendo in modo più specifico alle leggi del moto enunciate da Aristotele, egli stabilisce una proporzionalità diretta tra la forza cui un corpo è soggetto e la velocità che esso assume, per cui l'effetto di una forza è la velocità (la 2ª legge della dinamica di Newton, invece, stabilisce una proporzionalità diretta tra la forza e l'accelerazione: F=ma). Di conseguenza, il moto è impossibile in assenza di forze, ossia in assenza di forze un corpo deve assumere necessariamente lo stato di quiete. Invece, grazie al principio di inerzia di Galileo, sappiamo che questa tesi è falsa, nel senso che è possibile il moto, quindi una velocità, anche in assenza di forze. Infatti, grazie proprio al principio d'inerzia, un corpo permane nel suo stato di moto rettilineo uniforme anche in assenza di forze. Comunque la tesi aristotelica appariva in contrasto con l'esperienza quotidiana: ad esempio, in che modo una freccia può continuare ad avanzare attraverso l'aria, anche dopo essersi staccata dalla corda tesa che le ha dato l'avvio? Un problema non da poco, e certamente a conoscenza di Dante, se questi fa più volte ricorso nelle sue similitudini proprio al moto di una freccia attraverso "l'aere", ad esempio in questi due passi:

« Corda non pinse mai da sé saetta
che sì corresse via per l'aere snella... »
(Inf. VIII, 13-14)

« E sì come saetta che nel segno
percuote pria che sia la corda queta,
così corremmo nel secondo regno. »
(Par. V, 91-93)

Per rispondere a queste obiezioni, Aristotele avanzò la tesi secondo cui la freccia muovendosi caccia l'aria dai luoghi che attraversa, facendo il vuoto; ma siccome la natura aborre il vuoto, l'aria entra impetuosamente nei luoghi svuotati dal passaggio della freccia, imprimendo così un moto al proiettile stesso. La causa del moto, dunque, non può essere nel corpo né nel proicente che lo ha abbandonato e non può più agire su di lui: dunque, la causa deve essere nel mezzo. Nella dinamica aristotelica un corpo in moto, quindi, è sempre sotto l'azione di una forza applicata e, se ciò fosse stato vero, allora un oggetto che si sposta nel vuoto avrebbe dovuto raggiungere una velocità infinita. Ma Aristotele liquidava l'obiezione, come visto sopra, con la teoria dell'*horror vacui*, secondo cui il concetto stesso di vuoto è impossibile. Ne risulta, quindi, una dinamica, non solo diversa da quella sviluppata da Newton, ma anche sbagliata, che verrà confutata prima da Galileo ed in seguito dalla maestosa meccanica di Newton.

Se, abbandonando il moto rettilineo, passiamo ad analizzare il moto curvilineo, le grandezze fisiche scalari (cioè rappresentate da un numero dotato di segno e da una unità

di misura) non sono più sufficienti. Quindi, per esempio, la velocità in tale moto deve essere rappresentata da una grandezza vettoriale (cioè caratterizzata da: punto di applicazione, modulo, direzione e verso). Il concetto di vettore doveva essere ben chiaro nella mente di Dante, almeno a livello embrionale, se egli, per indicare ciò che ha una direzione e un verso oltre ad una lunghezza, usa in tutte e tre le cantiche proprio la metafora della freccia:

« Corda non pinse mai da sé saetta
che sì corresse via per l'aere snella,
com' io vidi una nave piccioletta
venir per l'acqua verso noi in quella... »
(Inf. VIII, 13-16)

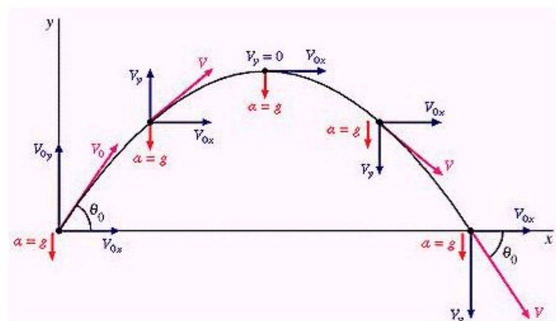
« Forse in tre voli tanto spazio prese
disfrenata saetta, quanto eramo
rimossi, quando Bëatrice scese. »
(Purg. XXXII, 34-36)

« E sì come saetta che nel segno
percuote pria che sia la corda queta,
così corremmo nel secondo regno. »
(Par. V, 91-93)

Nel primo caso si tratta della barca di Flegias che attraversa la palude Stigia proprio in direzione di Dante e Virgilio; nel secondo caso di quanto si era mossa la processione simbolica nel giardino dell'Eden; nel terzo caso di Beatrice e Dante che salgono nel Secondo Cielo, quello di Mercurio. Nel secondo caso, oltre al verso e alla direzione, si accenna anche al modulo del vettore: tre tiri d'arco. E non è tutto. Così Dante dice al proprio avo Cacciaguida nel Canto XVII del Paradiso:

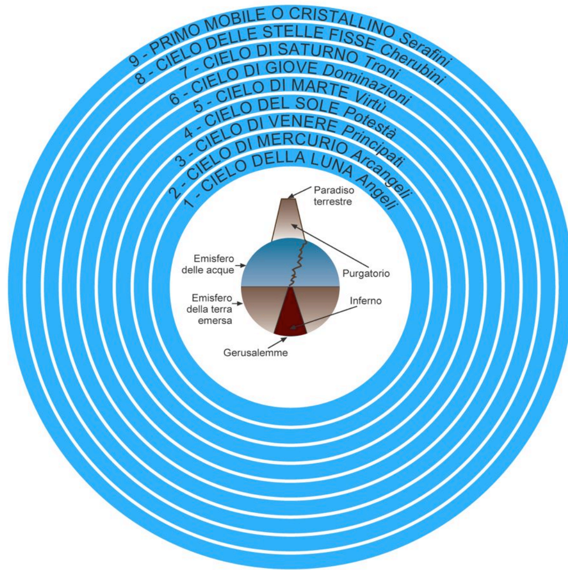
« per che la voglia mia saria contenta
d'intender qual fortuna mi s'appressa:
ché saetta previsa vien più lenta »
(Par. XVII, 25-27)

Al di là dell'evidente significato simbolico della terzina (è meglio conoscere in anticipo i mali che stanno per piombarci addosso), qui vi è un accenno alla capacità di prevedere la traiettoria della freccia e più in generale del proiettile. La branca della meccanica che si occupa del moto dei proiettili è la balistica, e al tempo di Dante non era nota l'equazione matematica di tale traiettoria, se ancora nel Rinascimento il matematico ***Luca Pacioli*** (1445-1517) sosteneva che la traiettoria di un proiettile sparato da un archibugio era un arco di circonferenza. Invece la traiettoria del proiettile è un arco di parabola, come è possibile dimostrare attraverso semplici calcoli.



E non è finita: in altri passi danteschi infatti si parla anche del moto circolare uniforme, il più perfetto tra i moti in quanto geometricamente perfetto (non avendo né inizio e né fine), e quindi deve essere realizzato da un elemento eterno, immutabile,

ingenerabile e incorruttibile, appunto l'etere. Ecco, quindi, che l'etere, di cui sono costituiti tutti i corpi celesti, deve risultare diverso dai quattro elementi empedoclei. E la causa della regolarità e dell'eternità del moto degli astri, come ampiamente analizzato in precedenza, va ricercata nel primo motore immobile che imprime il moto a tutte le sfere in cui sono incastonati gli astri e dove il Sole, le stelle, i pianeti, composti della quintessenza, splendono perché il moto delle loro sfere produce attrito con l'aria, quindi luce e calore.



Ecco alcuni passi della Divina Commedia in cui Dante fa esplicito riferimento, anche con cognizione di causa, del moto circolare uniforme:

« Sì come rota ch'igualmente è mossa »
(Par. XXXIII, 144)

Per spiegare ai suoi lettori che il suo animo, dopo la visione divina, è perfettamente in pace con l'universo, il nostro poeta ricorre alla metafora della ruota che è fatta girare "ugualmente", cioè in modo tale che in ogni secondo l'angolo di cui essa ruota è lo stesso; in altre parole, la velocità angolare della ruota è costante, ed essa si muove proprio di moto uniforme.

Da un altro passo del Paradiso è poi facile ricavare una delle caratteristiche principali di questo tipo di moto:

« E come cerchi in tempra d'orïoli
sì giran sì, che 'l primo a chi pon mente
quïeto pare, e l'ultimo che voli;
così quelle carole, differente-
mente danzando, de la sua ricchezza
mi facieno stimar, veloci e lente. »
(Par. XXIV, 13-18)

Dante si trova nel Cielo delle Stelle Fisse, e vede gli spiriti beati radunarsi in cerchi concentrici che girano vorticosamente su se stessi. E qui si innestano le sue conoscenze scientifiche: come le ruote ("cerchi") del meccanismo di un orologio girano a differenti velocità, tanto che le prime (le più interne) sembrano quasi ferme, e le ultime (le più esterne) paiono quasi volare, così quelle corone danzanti ("carole") di anime, con il differente ritmo del loro girare, danno la misura della loro diversa ricchezza di grazia, cioè del maggiore o minore grado della loro beatitudine. Evidente è il significato dell'osservazione scientifica di Dante: considerando una ruota in moto circolare uniforme, qualsiasi sia la loro distanza dal centro, tutti i punti sono animati dalla medesima velocità angolare ω, mentre i punti più esterni hanno velocità lineare v assai maggiore di quelli più vicini al mozzo, stante la proporzionalità diretta tra velocità angolare e raggio: $V=\omega R$. E, allo stesso modo, una ruota calettata sullo stesso asse di un'altra di diametro doppio avrà la stessa velocità angolare, ma la periferia della seconda ruota si muoverà con velocità lineare doppia di quella della prima. Per inciso, si noti quella curiosa rima di "mente" con "differente-", prima parte di "differentemente": l'avverbio spezzato tra i due versi sembra

riprodurre verbalmente la differenza di velocità tra i cerchi concentrici dei beati, e tra le ruote dentate dell'orologio.

Allo stesso fenomeno si riferisce anche un verso del Purgatorio:

« Li occhi miei ghiotti andavan pur al cielo,
pur là dove le stelle son più tarde,
sì come rota più presso a lo stelo. »
(Purg. VIII, 85-87)

Il concetto è lo stesso: gli occhi "ghiotti" (cioè avidi di conoscenza) del poeta sono attirati dal polo Antartico, là dove le stelle ruotano più lentamente, così come in una ruota si muovono più lentamente i suoi punti più vicini all'asse di rotazione ("lo stelo"). All'occhio curioso di Dante non è sfuggita la differente velocità delle stelle lontane o vicine all'asse terrestre.

Ma la meccanica di Dante non si ferma qui. Nella Divina Commedia è possibile rintracciare anche riferimenti alla Relatività.

3. La relatività

« Io non m'accorsi del salire in ella;
ma d'esservi entro mi fé assai fede
la donna mia ch'i' vidi far più bella. »
(Par. VIII, 13-15)

Dante sta salendo dal Cielo di Mercurio a quello di Venere, ma la cosa curiosa è che Dante non si accorge di essere salito di quota. Se ne rende conto solo osservando la sua donna, perchè la bellezza e lo splendore di Beatrice crescono mano a mano che ella sale verso l'Empireo. E la cosa comincia già ad apparirci strana. La stessa cosa si verifica due canti più innanzi, quando Dante sale dal Cielo di Venere a quello del Sole:

« ...ma del salire
non m'accors'io, se non com'uom s'accorge,
anzi 'l primo pensier, del suo venire. »
(Par. X, 34-36)

Secondo i commentatori, il "primo pensiero" è quello che si forma all'improvviso, non preparato da una precedente successione d'idee, e del quale prendiamo coscienza solo quando ce lo troviamo nella mente. In altre parole, Dante si accorge improvvisamente di essere salito di un cielo, senza preavviso, come se pensasse ancora di trovarsi intorno a Venere, e di colpo si accorgesse che il Sole era vicino. Sempre più strano. E analogamente avviene al momento della salita al Cielo di Marte:

« Quindi ripreser li occhi miei virtute
a rilevarsi; e vidimi translato
sol con mia donna in più alta salute.
Ben m'accors'io ch'io era più levato,
per l'affocato riso de la stella,
che mi parea più roggio che l'usato. »
(Par. XIV, 82-87)

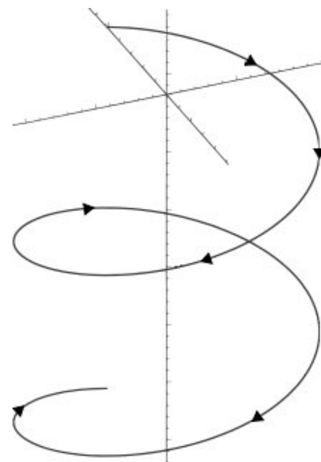
La vista di Beatrice ha abbagliato il nostro autore, ma ora i suoi occhi riacquistano la capacità visiva e tornano a volgersi verso l'alto; Dante si ritrova così "traslato" (termine curiosamente caratteristico della moderna matematica) "in più alta salute", cioè ad un grado più alto di beatitudine. Anche stavolta Dante si è accorto di essere asceso verso l'Empireo solo perché il fulgore del Sole è stato sostituito dal rosseggiare di Marte ("roggio"). A questo punto occorre cercare una risposta: come fa Dante a non accorgersi che sta ascendendo, tanto da restare sorpreso quando si ritrova vicino ad un nuovo corpo celeste? C'è una sola possibile spiegazione: Dante sta salendo di moto rettilineo uniforme, cioè di moto inerziale, ossia non soggetto a forze. A questo punto, per rendere conto di ciò che sta succedendo, dobbiamo chiamare in causa il principio di relatività galileiano, secondo cui è impossibile distinguere il moto rettilineo uniforme dalla quiete. Per chiarirlo, riferiamoci ad un brano famoso dello stesso Galileo tratto dalla sua monumentale opera *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*: *"Riserratevi con qualche amico nella maggiore stanza che sia sotto coverta di alcun grande naviglio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animaletti volanti; siavi anco un gran vaso d'acqua, e dentrovi de' pescetti; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vada versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso; e stando ferma la nave, [...] osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, [...] fate muover la nave con quanta si voglia velocità; che (pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma [...] le gocciole cadranno come prima nel vaso inferiore, senza caderne pur una verso poppa, benché, mentre la gocciola è per aria, la nave scorra di molti palmi [...]"*. In sostanza risulta impossibile decidere, sulla base delle esperienze meccaniche compiute all'interno di un sistema chiuso, cioè senza possibilità di riferirsi a qualcosa di esterno, se esso sia in quiete o in moto rettilineo uniforme. Generalizzando, il principio di relatività galileiano afferma che: *Le leggi della fisica sono sempre della stessa forma nei sistemi di riferimento inerziali* (che sono quei sistemi fermi o in moto rettileneo uniforme).

Alla luce di questo principio, i passi citati risultano meno enigmantici, dal punto di vista fisico, e spiegano perchè Dante non si accorge della propria ascesa di cielo in cielo: sta ascendendo di moto rettilineo uniforme, e dunque per lui valgono le stesse leggi del moto (cioè i tre principi della dinamica) che valevano quando era in quiete.

Ma ci sono altri riferimenti del poema ai moti relativi. Infatti, dopo aver visitato il settimo girone dell'Inferno, quello dei Violenti, Dante si trova nella situazione di dover scendere nell'ottavo girone, costituito dalle già citate Malebolge. Ma un'alta «*ripa discoscesa*» (Inf. XVI, 103), impossibile da scalare, separa i due cerchi dell'Inferno. Che fare? Virgilio lascia cadere nel burrone la corda che aveva legata intorno alla vita e poco dopo i due poeti vedono arrivare, quasi nuotando nell'aria, «*una figura... / maravigliosa ad ogne cor sicuro*» (Inf. XVI, 132), che si rivela essere il custode di Malebolge, Gerione. Virgilio convince il drago a portare sé e Dante sui «*suoi omeri forti*» (Inf. XVII, 42) onde superare il burrone. Virgilio apostrofa così il drago infernale:

« Gerïon, moviti omai:
le rote larghe, e lo scender sia poco;
pensa la nova soma che tu hai! »
(Inf. XVII, 97-99)

Evidentemente Dante, per bocca di Virgilio, conosce molto bene la fisica. Infatti, perchè chiede a Gerione di scendere a spirale con "rote larghe", cioè compiendo giri molto



ampi, e scendendo di poco ad ogni giro, cioè molto lentamente? La risposta è facile. Il moto di Gerione si compone di un moto rettilineo uniforme verso il basso e di un moto circolare uniforme in un piano orizzontale (in pratica il centro di rotazione si muove di moto rettilineo uniforme verso il basso). La composizione dei due moti genera una traiettoria la cui forma è chiamata elica cilindrica. La proiezione di questa curva tridimensionale su un piano perpendicolare all'asse è una circonferenza, e il moto proiettato su questo piano appare circolare uniforme. Ora, sappiamo che l'accelerazione centripeta nel moto circolare uniforme è data da: $a_c=\omega^2R$, dove ω è la velocità angolare; più piccola è quest'ultima, minore è l'accelerazione, e più il moto apparirà inerziale, quindi senza scossoni, pericolose inclinazioni, eccetera. Conclusione: se Gerione "nuota" nell'aria con ampie spirali, il viaggio di Dante sarà più confortevole.

Ma non è solo per questo, che abbiamo tirato in ballo Gerione. Dante, anticipando Leonardo nella finzione poetica, sperimenta il volo planato e anche il terrore di cadere, tanto da rievocare alla sua mente i falliti tentativi di Fetonte, che non seppe guidare il carro di suo padre il Sole, e di Icaro, che si avvicinò troppo all'astro solare e sentì sciogliersi la cera che gli faceva aderire le ali al corpo:

« Maggior paura non credo che fosse
quando Fetonte abbandonò li freni,
per che 'l ciel, come pare ancor, si cosse;
né quando Icaro misero le reni
sentì spennar per la scaldata cera,
gridando il padre a lui "Mala via tieni!",
che fu la mia, quando vidi ch'i' era
ne l'aere d'ogne parte, e vidi spenta
ogne veduta fuor che de la fera. »
(Inf. XVII, 106-114)

In pratica, Dante sa che Gerione si è staccato dalla solida roccia, che attorno a lui non c'è che aria, eppure, nonostante il buio, sa che si sta muovendo. Perché? Perchè, come egli stesso osserva:



« Ella sen va notando lenta lenta;
rota e discende, ma non me n'accorgo
se non che al viso e di sotto mi venta. »
(Inf. XVII, 115-117)

Dal momento che, secondo l'invito di Virgilio, Gerione si muove con lentezza in larghe giravolte, non sono percepibili gli effetti dovuti alla non inerzialtà del sistema di riferimento solidale con il demonio, tuttavia Dante intuisce che si sta muovendo perchè sente il movimento in direzione opposta dell'aria. In pratica, per un osservatore solidale con il burrone infernale, l'aria è ferma e Dante sta scendendo attraverso di essa lungo un'elica cilindrica. Invece, per un

osservatore solidale con il poeta, è Gerione ad essere fermo, e di conseguenza è l'aria che si muove verso di esso; la velocità dell'aria è addirittura scomposta da Dante nella sua componente orizzontale ("al viso") e verticale ("di sotto"), l'una dovuta al contributo del moto circolare uniforme in un piano orizzontale, l'altra all'effetto del moto rettilineo uniforme verso il basso. Una vera e propria lezione sulla relatività del moto.

Spostiamoci, adesso, nel canto XXXI dell'Inferno, quello dei Giganti. Anche in questo caso, Dante e Virgilio si trovano nella necessità di superare un burrone, quello che separa l'ottavo dal nono cerchio, dove stanno i Traditori. In questo caso non c'è un Gerione disponibile, ma Virgilio vede il gigante Anteo, e subito lo adula per convincerlo a depositare lui e Dante sul letto ghiacciato del Cocito, e il gigante obbedisce. Quando Dante vede Anteo chinarsi verso di lui, si sente assalire dal terrore, e così descrive la situazione:



« Qual pare a riguardar la Carisenda
sotto 'l chinato, quando un nuvol vada
sovr'essa sì, ched ella incontro penda:
tal parve Antëo a me che stava a bada
di vederlo chinare, e fu tal ora
ch'i' avrei voluto ir per altra strada.
(Inf. XXXI, 136-141)

La Garisenda è la minore delle due torri bolognesi (allora alta oltre 60 m), e chi la guarda dal basso, e precisamente dalla parte dove essa pende ("sotto 'l chinato"), quando una nuvola le viene incontro, per via di una comune illusione ottica sembra che la nuvola resti ferma e sia la torre ad inclinarsi verso l'osservatore. In pratica, l'occhio umano diventa automaticamente solidale con la nuvola, e questo per vari motivi, primo dei quali perchè la nuvola è enorme e posta molto in alto, e il cervello inconsciamente ci fa credere che più un oggetto è grosso e lontano, più lentamente esso si deve muovere. Ma allora, se il nostro occhio diventa solidale con il sistema di riferimento della nuvola, per via delle "trasformazioni galileiane" è la torre a muoversi rispetto ad esso.

Infine al principio dell'ultimo canto dell'Inferno, così Virgilio si rivolge a Dante:

« "Vexilla regis prodeunt inferni
verso di noi; però dinanzi mira",
disse 'l maestro mio, "se tu 'l discerni". »
(Inf. XXXIV, 1-3)

"Si avvicinano i vessilli del re dell'Inferno", vuole dire Virgilio con la sua citazione latina, riferendosi alle sei ali del gigantesco Lucifero. Dante e Virgilio vedono i vessilli di Satana che si avvicinano, ma in realtà questa descrizione è fatta nel loro sistema di riferimento: nel sistema di riferimento dell'Inferno, ovviamente, le ali di Belzebù sono ferme, e sono i due poeti ad avanzare verso di esse.

A questo punto è necessario fare un cenno alla relatività di Einstein, perché nella Divina Commedia si fanno richiami alla propagazione istantanea della luce. Ecco la similitudine in cui si fa riferimento a questo fenomeno fisico:

« E come in vetro, in ambra o in cristallo
raggio resplende sì, che dal venire

a l'esser tutto non è intervallo,
così 'l triforme effetto del suo sire
ne l'esser suo raggiò insieme tutto
sanza distinzïone in essordire. »
(Par. XXIX, 25-27)

A parlare è Beatrice, la quale sta parlando della Creazione, durante la quale il Signore trasse simultaneamente dal nulla (*ex nihilo*) la forma (le intelligenze angeliche), la materia (il mondo ancora informe) e infine il composto indissolubile di materia e forma, cioè i Cieli. In altri termini, l'effetto della creazione fu istantaneo allo stesso modo in cui è istantanea la propagazione della luce. Questo fatto, che oggi sappiamo bene essere erroneo, era considerato vero fin dalla più remota antichità, e dopo Dante lo sarebbe stato considerato fino al Seicento. Così si esprimeva ad esempio Tommaso d'Aquino in un passo che Dante tenne certamente presente: "*Si conclude che la Creazione fosse istantanea, cosicché una cosa nell'atto in cui la si crea è creata, a quel modo in cui quando si illumina una cosa, è illuminata*". (Summa Contra Gentiles II, 19).

Il primo a mettere in dubbio l'idea che la propagazione della luce avvenisse a velocità infinita fu il solito Galileo. Oggi si ritiene che la velocità della luce nel vuoto sia di 299.792.458 m/s. La misurazione della velocità della luce ebbe un'importanza straordinaria nel campo della fisica moderna, che sfociò poi nella teoria della relatività ristretta di Einstein (1905), assumendo addirittura la posizione di postulato, quello della costanza della velocità della luce: *La velocità della luce è la stessa in tutti i sistemi di riferimento inerziali, indipendentemente dal moto della sorgente rispetto all'osservatore.* Una conseguenza di questo postulato è l'inesistenza dell'etere; infatti, se la costanza della velocità della luce non dipende dallo stato di moto del corpo che la emette, l'introduzione di un etere necessario per la sua propagazione è superflua, come ebbe a dimostrare l'esperimento di ***Michelson*** e ***Morley*** (1887) (anche se in realtà, lo scopo dell'esperimento era quello di dimostrare l'esistenza dell'etere e che fu Einstein a fare a meno dell'etere come mezzo necessario per la propagazione della luce). Inoltre, fatto ancora più straordinario, se nella relatività galileiana viene postulato che due osservatori qualunque in moto reciproco uno rispetto all'altra misurino gli stessi tempi, e quindi che il tempo (così come lo spazio) sia una realtà assoluta, Einstein giunge a conclusioni totalmente diverse, ossia che il tempo (così come lo spazio) è relativo allo stato di moto del corpo. Per intenderci, un orologio in moto misura il tempo più lentamente, e le sue dimensioni fisiche sono minori, di uno fermo. Il fenomeno, in gergo fisico, viene chiamato dilatazione del tempo (contrazione delle lunghezze). Se si accetta questo nuovo postulato, la fisica classica diventa un'approssimazione di quella relativistica a velocità molto basse, cioè quelle che sperimentiamo nella nostra vita quotidiana. Ammettendo, dunque, che l'unica vera invariante sia la velocità della luce, si scopre allora che le lunghezze si contraggono nella direzione del moto, e che osservatori in moto relativo l'uno rispetto all'altro percepiscono il trascorrere del tempo in modo diverso. È possibile rintracciare nella Divina Commedia situazioni che possano, con tutte le cautele del caso, rimandare alla teoria della relatività di Einstein? Ecco il passo:

« Or tu chi se' che 'l nostro fummo fendi,
e di noi parli pur come se tue
partissi ancor lo tempo per calendi? »
(Pur. XVI, 25-27)

A parlare è Marco Lombardo, uomo di corte della Marca Trevigiana a proposito del quale non si conoscono altre notizie che quelle fornite da Dante. Chiaro è il significato di questi versi: Dante parla di presente e di passato, come se per lui ci fosse ancora distinzione tra ciò che è già accaduto e cosa deve ancora accadere. Invece per l'anima di Marco Lombardo esiste ormai solo l'eternità, ed egli non può più dividere il tempo in calende, idi e none come facevano i Romani. Proprio questa radicale differenza nella concezione del tempo secondo i due osservatori, Dante e Marco, ci porta diritto alla relatività del tempo, e non è difficile rendersi conto del fatto che Dante e l'anima purgante si ritrovano nella stessa situazione di due osservatori in moto relativo l'uno rispetto all'altro a velocità cosiddette relativistiche (cioè prossime a a quella della luce): essi vivono in due tempi diversi. Le cose viste da entrambi sono le stesse, ma misurate in due modi differenti.

4. L'ottica e l'acustica

La Divina Commedia è indiscutibilmente dominata dall'esperienza del vedere, e poiché l'opera si sviluppa tutto intorno all'atto del vedere, la caratteristica specifica dell'arte dantesca è l'assoluto realismo delle proprie descrizioni; non è certo un caso se Dante insiste sulle similitudini per riportare ciò che ha visto di ineffabile a qualcosa che noi conosciamo molto bene, in modo che possiamo farcene una chiara idea agli occhi della mente; e tutto quanto avviene è sempre perfettamente spiegabile nell'ambito della filosofia aristotelica. Tuttavia, al principio di tutto vi è sempre l'organo della vista, come rivelano le precise conoscenze di ottica disseminate in tutto il poema.

L'ottica, sia fisiologica che geometrica, era tutt'altro che sconosciuta durante il Medioevo. Le prime teorie scientifiche sul funzionamento dell'occhio e sulla formazione delle immagini risalgono a ***Pitagora*** (570 a.C.-495 a.C.), il quale sostenne che fosse l'occhio ad inviare raggi visuali rettilinei ad esplorare l'ambiente esterno (ipotesi emissiva). Al contrario, Democrito e gli atomisti insegnavano che erano gli oggetti ad emettere dei "simulacri" o "idola" (vale a dire delle immagini di sé), poi ricevuti dall'occhio (ipotesi ricettiva). Intorno al 300 a.C. Euclide fu il primo a riorganizzare le conoscenze di ottica in un trattato, costruito su postulati e teoremi sul modello dei suoi famosi *Elementi*, dando così origine di fatto all'ottica geometrica. Nel II secolo d.C. Tolomeo, il più grande astronomo (e quindi osservatore del cielo) dell'età romana, pubblica a sua volta un trattato l'*Ottica*, che comprende una sezione sulla riflessione, una sui fenomeni di rifrazione e per primo costruisce una tabella che contiene gli angoli di rifrazione corrispondenti a vari angoli di incidenza per le coppie acqua-aria, aria-vetro e acqua-vetro. Tolomeo si occupa anche della teoria del colore, affermando di aver eseguito esperimenti con un disco rotante diviso in spicchi di vari colori. Nel Medioevo lo sviluppo dell'ottica geometrica è portato avanti soprattutto nel mondo islamico, grazie ai contributi del grande scienziato Alhazen, che respinge decisamente l'ipotesi emissiva, argomentando che ella non riusciva a spiegare come potesse l'occhio umano raggiungere con i suoi supposti "raggi visuali" oggetti lontanissimi come il Sole e le stelle, e aggiungendo che: "*La visione avviene per mezzo d'una piramide il cui vertice è nell'occhio e la base nella cosa vista* ". La sua concezione, estremamente moderna, era diffusissima ai tempi di Dante

Tanto per cominciare, Dante ha ben chiara la differenza tra corpi opachi, trasparenti e traslucidi, che è alla base di ogni conoscenza di ottica. Come esempio

di opacità potremmo citare i versi iniziali del canto di Marco Lombardo, da noi già utilizzati:

« Buio d'inferno e di notte privata
d'ogne pianeto, sotto pover cielo,
quant'esser può di nuvol tenebrata,
non fece al viso mio sì grosso velo
come quel fummo ch'ivi ci coperse... »
(Purg. XVI, 1-5)

Dante attraversa un fumo tanto fitto da assorbire ogni raggio di luce e impedire la visione, così come accade se in cielo non sono visibili stelle se si guarda il cielo attraverso uno spioncino troppo stretto per vedere alcunché, o al di sotto di uno spesso strato di nubi. È già quasi a metà strada nell'ascesa del Purgatorio, eppure quello strato di fumo è talmente opaco da fargli credere di trovarsi di nuovo nell'Inferno.

Per quanto riguarda invece i corpi traslucidi, basta leggere questo passo:

« Né si partì la gemma dal suo nastro,
ma per la lista radïal trascorse,
che parve foco dietro ad alabastro. »
(Par. XV, 22-24)

Ci troviamo nel Cielo di Marte, dove si mostrano a Dante le anime di coloro che combatterono strenuamente per la fede. Esse, turbinando e scintillando in continuazione, si dispongono a formare un'immensa croce. A un tratto, come il cielo notturno è attraversato da una stella cadente, dall'estremità del braccio destro della croce celeste si stacca uno dei lumi di quella costellazione paradisiaca, ed attraversa tutta la sua struttura, seguendo l'angolo retto che il braccio destro forma con quello inferiore. La "gemma" è Cacciaguida, trisavolo di Dante. Secondo la descrizione di Dante, sempre attento a rappresentare anche la più ineffabile delle esperienze con qualcosa a noi familiare, il moto di Cacciaguida in mezzo all'immenso turbine degli spiriti militanti è rappresentato come quello di una fiamma che si muove dietro a uno strato di alabastro (elemento traslucido), illuminandolo tutto senza che si possano distinguere i suoi esatti contorni dietro ad esso.

Innumerevoli anche gli esempi di trasparenza riportati dalla Commedia. Per tutti, basti questa citazione dall'ultimo canto dell'Inferno:

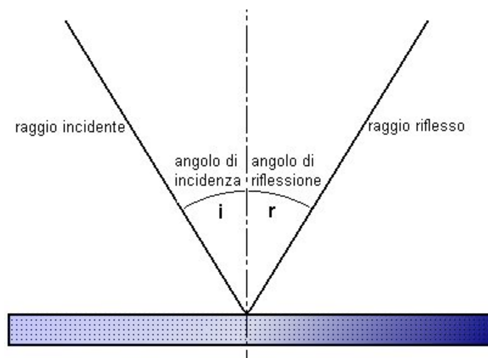
« Già era, e con paura il metto in metro,
là dove l'ombre tutte eran coperte,
e trasparien come festuca in vetro. »
(Inf. XXXIV, 10-12)

Ci troviamo nella quarta zona del Cocito, la Giudecca. Qui stanno i traditori dei benefattori, completamente imprigionati dentro il ghiaccio. Dante li può vedere solo in trasparenza attraverso il ghiaccio del Cocito.

Nessun discorso riguardante l'ottica, e l'ottica geometrica in particolare, può prescindere dal concetto di riflessione. Esso era ben noto fin dall'antichità, dato che è legato alla fabbricazione degli specchi. All'epoca di Dante a Venezia si producevano specchi unendo una lastra di cristallo lucidato a un foglio di piombo o di stagno tramite un bagno di mercurio, ed esercitando una forte pressione. Che Dante conoscesse questo procedimento lo testimoniano i seguenti versi:

« S'i' fossi di piombato vetro,
l'imagine di fuor tua non trarrei
più tosto a me, che quella dentro 'mpetro. »
(Inf. XXIII, 25-27)

Cioè: se fossi uno specchio, dice Virgilio, non rifletterei la tua immagine esteriore più presto di quanto io non riesca a rispecchiare la tua immagine interna, cioè i tuoi pensieri. Il fenomeno della riflessione, alla base di ogni specchio, ha luogo quando un raggio di luce incontra la superficie di separazione fra due mezzi, e ritorna indietro nel primo di essi, rispettando precise leggi geometriche. Queste leggi sono descritte nei particolari da Dante proprio nel canto del Purgatorio allorché è abbagliato dall'apparizione dell'angelo guardiano della cornice degli iracondi, tanto da dover far "solecchio", cioè da doversi riparare la vista con la mano. Nella similitudine con cui il poeta cerca di darci un'idea di cosa ha visto, si trova una descrizione estremamente accurato proprio del fenomeno della riflessione:

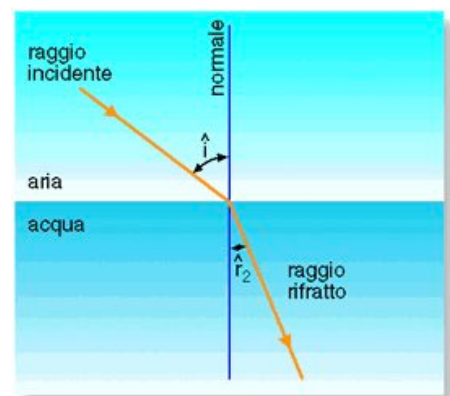


« Come quando da l'acqua o da lo specchio
salta lo raggio a l'opposita parte,
salendo sù per lo modo parecchio
a quel che scende, e tanto si diparte
dal cader de la pietra in igual tratta,
sì come mostra esperïenza e arte... »
(Pur. XV, 16-21)

In altre parole: come quando dalla superficie dell'acqua o di uno specchio un raggio incidente rimbalza, cioè viene riflesso nella direzione opposta, risalendo con la stessa inclinazione ("nel modo parecchio", cioè pari, dal provenzale "parelh") con cui è disceso, e si allontana dalla verticale ("dal cader de la pietra") salendo tanto quanto ha fatto scendendo, come dimostrano l'esperienza e gli studi teorici condotti dagli artisti; così, continua poi Dante, mi parve di essere colpito negli occhi da una luce riflessa, quella che emana dal volto di un angelo. Infatti valgono le due leggi della riflessione:

- ✓ raggio incidente, raggio riflesso e normale alla superficie sono complanari;
- ✓ raggio incidente e raggio riflesso formano angoli congruenti con la normale.

Un secondo fenomeno ottico cui Dante fa riferimento è quello della rifrazione della luce. Infatti, quando un raggio di luce colpisce la superficie di separazione di due mezzi diversi, esso è in parte riflesso, in parte trasmesso attraverso il secondo mezzo. Anche il fenomeno della rifrazione soggiace a leggi ben precise:



- ✓ raggio incidente, raggio rifratto e normale alla superficie sono complanari;
- ✓ il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e quello dell'angolo di rifrazione è costante e chiamato indice di rifrazione dei due mezzi (legge di Snell)

Della rifrazione della luce attraverso una pietra preziosa il nostro poeta parla quando descrive gli spiriti del Cielo di Giove:

« Parea dinanzi a me con l'ali aperte
la bella image che nel dolce frui
liete facevan l'anime conserte;
parea ciascuna rubinetto in cui
raggio di sole ardesse sì acceso,
che ne' miei occhi rifrangesse lui »
(Par. XIX, 1-6)



In pratica, il poeta vede davanti a sé l'immagine dell'aquila formata dalla moltitudine delle anime "conserte", cioè ordinate in un tutt'uno per formare tale figura, liete nel godimento della loro beatitudine; e ciascuna anima appariva fulgida come un rubino su cu i venga a piovere un raggio di sole, moltiplicandone la luce a tal punto da rifrangere mille volte la sorgente di luce. In questi versi è colta la caratteristica del rubino sfaccettato (un ossido di alluminio sfaccettato e di colore rosso vivo) di riprodurre un gran numero di volte l'oggetto che è visto attraverso di esso.

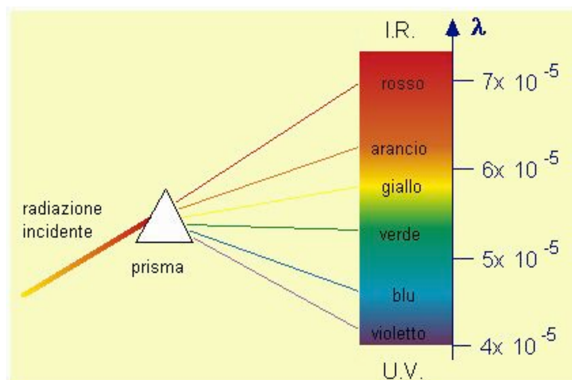
Il fatto invece che la luce incidente sia in parte riflessa ed in parte trasmessa dagli specchi d'acqua è sfruttato da Dante nel Cielo della Luna per descrivere i volti diafani dei primi beati che incontra, gli spiriti che mancarono ai voti:

« Quali per vetri trasparenti e tersi,
o ver per acque nitide e tranquille,
non sì profonde che i fondi sien persi,
tornan d'i nostri visi le postille
debili sì, che perla in bianca fronte
non vien men forte a le nostre pupille;
tali vid'io più facce a parlar pronte;
per ch'io dentro a l'error contrario corsi
a quel ch'accese amor tra l'omo e 'l fonte. »
(Par. III, 10-18)

Rileggiamolo nell'italiano moderno. Come attraverso vetri trasparenti e chiari, oppure attraverso acque limpide e tranquille, ma non così profonde che il loro fondo non possa essere visto, i lineamenti dei nostri volti si riflettono così tenui, che una perla su una bianca fronte è percepita con non minore difficoltà dai nostri occhi; nello stesso modo il poeta vede molti volti nell'atteggiamento di chi sta per parlare, e cadde nell'errore contrario a quello che fece nascere l'amore fra Narciso e la fonte. Infatti Dante ha scambiato quei volti veri per immagini riflesse, e si volta all'indietro, non vedendo nulla, mentre Narciso scambiò la propria immagine riflessa per una persona reale e se ne innamorò. Con quest'incredibile immagine, Dante riesce a tradurre in termini di miracolosa fantasia una realtà disincarnata e senza corpo, e quindi indescrivibile per sua natura. Qui, a differenza dei Beati dei cieli superiori che saranno pure luci, sopravvive l'immagine umana, seppur ridotta a tenue fantasma e a contorno appena visibile, in dissolvenza rispetto alla dura carnalità dell'Inferno e ai paesaggi ben definiti del Purgatorio. Quello che ci interessa qui, tuttavia, è osservare che, attraverso il gioco della

similitudine, Dante riesce a vedere sia la debole immagine riflessa del proprio volto, sia l'immagine rifratta del fondale.

Un terzo fenomeno ottico che ritroviamo nella Commedia è quello della dispersione, fenomeno per cui un raggio di luce bianca, attraversando un prisma di vetro, si scom pone nei colori che lo costituiscono. Tradizionalmente essi vengono chiamati "i sette colori dell'iride", perchè in passato si riteneva che la luce bianca fosse composta da sette colori diversi: rosso, arancio, giallo, verde, azzurro, indaco, violetto. Oggi sappiamo che i colori dell'iride sono in realtà infiniti, perchè ad ogni differente lunghezza d'onda della luce corrisponde un diverso colore percepito dall'occhio, e le lunghezze d'onda della luce visibile (quelle comprese tra 380 e 750 nanometri) sono effettivamente infinite. In realtà noi chiamiamo: violetto le lunghezze d'onda comprese tra 380 e 410 nm; indaco quelle comprese tra 410 e 450 nm; azzurro quelle comprese tra 450 e 495 nm; verde quelle comprese tra 495 e 570 nm; giallo quelle comprese tra 570 e 590 nm; arancio quelle comprese tra 590 e 620 nm; rosso quelle comprese tra 620 e 750 nm.



Oggi sappiamo che il fenomeno della dispersione della luce è dovuto al fatto che l'indice di rifrazione definito dalla legge di Snell non dipende solo dai due mezzi, ma anche dalla lunghezza d'onda della luce: l'indice di rifrazione è tanto maggiore quanto minore è la lunghezza d'onda, per cui il violetto è rifratto di un angolo assai maggiore del rosso. Per questo le lunghezze d'onda, cioè i colori, si separano in uscita dal prisma, ed uno dei fenomeni dovuti alla dispersione è proprio l'arcobaleno, utilizzato da Dante più volte nella sua opera. Lo ritroviamo per esempio nel Purgatorio, nella Cornice dei Lussuriosi, dove il poeta Stazio descrive l'apparenza dell'anima nel mondo ultraterreno. Appena si scioglie dalla carne e precipita nel luogo che le è stato designato, cioè presso l'Acheronte (i dannati) o presso la foce del Tevere (i purganti), la virtù formativa che è in essa comincia ad operare sull'aria circostante nella stessa misura in cui operava sul corpo, plasmando così un corpo aereo che ha le stesse sembianze del corpo di carne. L'idea del corpo aereo, fatto d'aria e incapace di proiettare un'ombra, ma provvisto di tutte le capacità fisiologiche e sensitive del corpo umano, è antecedente a Dante, e legata a tutta la letteratura su spettri e fantasmi che è praticamente vecchia quanto l'umanità. L'Alighieri tuttavia la sfrutta per ovvie esigenze di rappresentazione e di racconto, e ne dà un'interpretazione magistrale, sostenendo che, anche una volta separata dal corpo, l'anima continua a vivere e a manifestarsi con mezzi e misure corporee. Ora, come descrivere questa sorta di "radioattività spirituale" da parte dell'anima? Niente di meglio che far ricorso all'ottica: l'anima irraggia la sua forma dell'ombra nello stesso modo in cui l'irraggiarsi della luce nelle nubi produce l'arcobaleno. Ed ecco i versi che descrivono questa meraviglia:

« Tosto che loco lì la circunscrive,
la virtù formativa raggia intorno
così e quanto ne le membra vive.
E come l'aere, quand'è ben pïorno,
per l'altrui raggio che 'n sé si reflette,
di diversi color diventa addorno;
così l'aere vicin quivi si mette

in quella forma ch'è in lui suggella
virtüalmente l'alma che ristette »
(Purg. XXV, 88-96)

Dante conosce l'ipotesi dei suoi scienziati contemporanei circa l'origine dell'arcobaleno a partire dalla rifrazione della luce, e ne abbiamo qui la prova. Egli infatti spiega: come l'aria ("aere"), quando è impregnata di umidità ("pïorno", cioè"piovorno"), riflettendo e rifrangendo i raggi solari, si adorna dei colori dell'iride, così l'aria che circonda l'anima assume la figura ("si mette in quella forma") che in essa imprime ("suggella") la virtù formativa che le irraggia intorno.

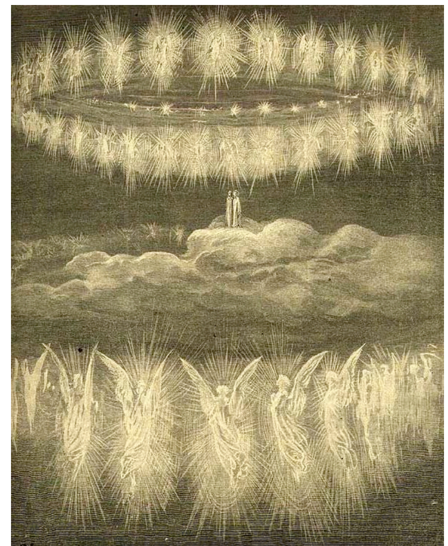
« Quindi parliamo e quindi ridiam noi »

può concludere Stazio:

« quindi facciam le lagrime e ' sospiri
che per lo monte aver sentiti puoi »
(Purg. XXV, 103-105)

Un'illusione, certamente, dato che quel corpo aereo non proietta ombra; ma un'illusione quanto mai reale, visto che Dante può vedere quelle ombre mutilate (Inf. XXVIII, i seminatori di scismi) o malate (Inf. XXX, i falsari) o incredibilmente dimagrite a causa del digiuno (Purg. XXIII, i golosi): proprio come l'aria sembra colorata, anche se quei colori sono solo un effetto ottico.

Una descrizione ancor più minuziosa (nello stile dantesco) di questo fenomeno la ritroviamo nel Cielo del Sole, dove, per descrivere il moto concorde di due corone di beati, il nostro autore ricorre all'immagine del doppio arcobaleno:



« Come si volgon per tenera nube
due archi paralelli e concolori,
quando Iunone a sua ancella iube,
nascendo di quel d'entro quel di fori, [...]
e fanno qui la gente esser presaga,
per lo patto che Dio con Noè puose,
del mondo che già mai più non s'allaga:
così di quelle sempiterne rose
volgiensi circa noi le due ghirlande,
e sì l'estrema a l'intima rispuose. »
(Par. XII, 10-13.16-21)



Da notare gli aggettivi: "paralelli" (proprio così, questa era la forma usuale fino al XVII secolo) e "concolori". Il primo significa "equidistanti", il secondo "che presentano gli stessi colori". Il verbo "si volgon" significa invece "si incurvano", e la "tenera nube" indica il pulviscolo acqueo in sospensione nell'atmosfera dopo la pioggia. "Quando Iunone a sua ancella iub e" ("iube" è un latinismo) richiama l'interpretazione mitologica dell'arcobaleno, come

strascico della veste di Iride, ancella di Era, mentre "e fanno qui la gente esser presaga" richiama invece la tradizione biblica secondo cui, mostrandosi, l'arcobaleno fornisce all'uomo la certezza che il mondo non sarà più allagato dalle acque del diluvio. Da notare però il verso *«nascendo di quel d'entro quel di fori»*: esso esprime la convinzione scientifica del tempo di Dante secondo cui il secondo arcobaleno nascesse per riflessione di quello interno. Oggi sappiamo invece che il doppio arcobaleno è dovuto a due diverse rifrazioni della luce attraverso le goccioline d'acqua.

Un altro fenomeno descritto con cura da Dante è l'alone lunare, che egli cita per darci un'idea precisa della corona di beati che lo accoglie nel Cielo del Sole, composta dagli Spiriti Sapienti che in vita si distinsero per i loro studi teologici e filosofici:

"Così cinger la figlia di Latona
vedem talvolta, quando l'aere è pregno,
sì che ritenga il fil che fa la zona. "
(Par. X, 67-69)

In altre parole: così talora vediamo la Luna circondata da un alone, quando l'atmosfera è così satura di vapore da trattenerne in sé il raggio, per cui si forma intorno a lei quella cintura luminosa. Il poeta fa ricorso allo stesso fenomeno per descrivere il cerchio di fuoco che egli vede cingere nell'Empireo il punto luminoso in cui si manifesta l'immaterialità e l'indivisibilità di Dio:

« Forse cotanto quanto pare appresso
alo cigner la luce che 'l dipigne
quando 'l vapor che 'l porta più è spesso »
(Par. XXVIII, 22-24)

Dante ha visto il punto geometrico che rappresenta l'infinità incommensurabile di Dio (ne abbiamo parlato nel capitolo dedicato a Dante matematico nel paragrafo sulla geometria), ed intorno ad esso ha scorto come un cerchio di fuoco che gli ruota intorno rapidissimo. Come descrivere tale aura infuocata? Niente di meglio che far ricorso allo stesso fenomeno ottico dei versi precedenti. Che poi Dante fosse al corrente del fatto che l'arcobaleno e l'alone di lunare avessero la stessa origine, dovuta alla rifrazione della luce, ce lo dice questo passo del Purgatorio:

« sì che lì sopra rimanea distinto
di sette liste, tutte in quei colori
onde fa l'arco il Sole e Delia il cinto. »
(Purg. XXIX, 76-78)



"Delia" è la Luna, e in onore di Dante questo fenomeno è conosciuto tuttora come "Cinto di Delia". I "sette colori" invece sono ovviamente i suddetti sette colori dell'iride, risultato della rifrazione della luce bianca tra mezzi diversi. Gli aloni sono più frequenti attorno al Sole, meno attorno alla Luna. Si formano grazie a nuvole alte e sottili, come i cirrostrati, che contengono milioni di cristalli di ghiaccio: ognuno di questi cristalli funziona come un prisma in miniatura. Poiché la maggior parte di essi ha la stessa conformazione esagonale, la luce, proveniente dal Sole e riflessa dalla Luna, entra attraverso

la faccia di un cristallo e vi esce con un angolo di rifrazione di 22° circa. Si forma così intorno alla Luna un alone con pallidi colori rosati al centro e blu all'esterno.

Che il Sole non sia osservabile direttamente dall'occhio umano per la sua eccessiva luminosità, nemmeno durante un'eclisse parziale, il poeta ce lo ricorda con questi celeberrimi versi:

« Qual è colui ch'adocchia e s'argomenta
di vedere eclissar lo sole un poco,
che, per veder, non vedente diventa »
(Par. XXV, 118-120)

Con essi Dante vuole darci l'idea di quanto restò abbagliato, cercando di osservare l'anima fulgidissima di Giovanni Evangelista. Ma ci sono due momenti del giorno in cui il Sole diventa visibile: all'alba e al tramonto, quando la sua luce deve attraversare uno strato d'aria più spesso e viene maggiormente filtrata. In questo caso il cielo si tinge di rosso, come descritto in questi versi:

« Di quel color che per lo sole avverso
nube dipigne da sera e da mane,
vid'ïo allora tutto 'l ciel cosperso. »
(Par. XXVII, 28-30)

In questi versi Dante fornisce anche una spiegazione del fenomeno: il rosso di sera e il rosso di mattina tinge le nuvole quando il sole le investe di fronte ("avverso") con i suoi raggi. L'intensa colorazione rossa all'alba e al tramonto è dovuta al fatto che i raggi del Sole sono molto obliqui e, in queste condizioni, il pulviscolo atmosferico diffonde solo la componente rossa della luce solare. In particolare le prime luci dell'alba derivano dalla rifrazione dei raggi solari da parte dell'atmosfera quando l'astro solare si trova ancora sotto l'orizzonte. La sua luminosità è di un colore biancastro che vira poi in una tonalità giallo oro, come accuratamente descritto dal nostro poeta in questi versi:

« La concubina di Titone antico
già s'imbiancava al balco d'orïente,
fuor de le braccia del suo dolce amico »
(Purg. IX, 1-3)

La "concubina" è Eos, figlia di Iperione e di Teia, il cui compito era quello di precedere e di annunciare al mattino l'arrivo del carro del Sole. Avendo più volte diviso il talamo con Ares, marito di Afrodite, la dea dell'amore decise di punire la sua rivale condannandola ad innamorarsi di continuo di comuni mortali. E così, giunta presso Troia, Eos si innamorò perdutamente di Titone, giovane di straordinaria bellezza, figlio del re Laomedonte. Eos lo prese come amante e chiese per lui a Zeus l'immortalità, ma si dimenticò di chiedere anche l'eterna giovinezza; cosicché Titone fatalmente invecchiò e divenne decrepito, al punto che Eos fu costretta a tramutarlo in cicala. L'estrema vecchiaia di Titone giustifica l'aggettivo "antico" (secondo altri significa "vissuto nell'antichità"), mentre il "balco" rappresenta l'oriente come un balcone al quale Eos si affaccia appena alzata dal letto, "imbiancandosi" come una donna comune che si metta la cipria.

Al nostro poeta non sfugge nemmeno il fenomeno del tremolio della luce delle stelle, tirato in ballo per descrivere il volto dell'Angelo dell'Umiltà:

« A noi venìa la creatura bella,
biancovestito e ne la faccia quale
par tremolando mattutina stella. »
(Purg. XII, 88-90)

Questo effetto è causato dall'attraversamento dell'atmosfera terrestre da parte della luce stellare: essa nel suo percorso è costretta ad attraversare strati d'aria di diverse densità e temperature, che agiscono quindi come una successione di lenti con indice di rifrazione variabile. Ogni strato d'aria quindi devia la luce in modo diverso dagli altri. A ciò si aggiunge la turbolenza dell'aria, che devia a sua volta il cammino ottico dei raggi di luce. E così, da terra sembra che la luminosità delle stelle cambi continuamente, producendo il ben noto tremolio.

Un ultimo fenomeno ottico al quale Dante fa cenno nella sua Commedia è il colore azzurro del cielo, come evidenziato da questi versi al principio del Purgatorio:

« Dolce color d'orïental zaffiro,
che s'accoglieva nel sereno aspetto
del mezzo, puro infino al primo giro »
(Purg. I, 13-15)

Lo zaffiro è una varietà monocristallina dell'ossido di alluminio dal tipico colore blu-azzurro, derivante da inclusioni di ematite. Il colore dello zaffiro, ci dice Dante, "si raccoglieva" (noi useremmo il verbo contrario, "si diffondeva") nell'aspetto sereno del mezzo, cioè dell'aria, che riempie tutto il cielo, "puro infino al primo giro", cioè assolutamente terso, senza nebbia o nuvole, fino al Cielo della Luna (altri intendono "fino al cerchio dell'orizzonte"). Pensiamo un attimo a questo colore di zaffiro: sulla Luna e nello spazio il cielo appare assolutamente nero, sulla Terra invece no, perchè il nostro pianeta è dotato di atmosfera, e le gocce d'acqua e i granelli di polvere che la compongono diffondono in special modo i raggi blu, mentre si lasciano attraversare dagli altri colori.

L'ottica, insieme all'acustica, fa parte di una branca della fisica, le onde. L'acustica, al pari dell'ottica, non è scienza recente; gli antichi greci ne avevano ottime conoscenze, come dimostrano i loro teatri dotati di un'acustica perfetta. Il primo a pensare al suono come alla propagazione di onde di pressione fu il filosofo pitagorico ***Crisippo*** nel V secolo a.C., ed Aristotele riprese le sue considerazioni, trasmettendole in tal modo a Dante. L'acustica certamente sorse dallo studio della musica, e il poeta russo ***Osip Emil'evic Mandel'stam*** (1891-1938) scrisse che la Divina Commedia nella sua essenza profonda non sarebbe altro che *«un incontro di musica e scienza, unificate e cadenzate dalla struttura rigorosa e flessibile, esatta e dinamica, dal tessuto resistentissimo e liquido, come fosse seta, del verso dantesco»*. Una cosa comunque è certa: Dante ne ha ascoltate parecchie di melodie, durante la propria ascesa al cielo. Basti per tutte questa citazione:

E come giga e arpa, in tempra tesa
di molte corde, fa dolce tintinno
a tal da cui la nota non è intesa,
così da' lumi che lì m'apparinno
s'accogliea per la croce una melode
che mi rapiva, sanza intender l'inno.
(Par. XIV, 118-123)

In altri termini: come diversi strumenti musicali, con la temperata armonia che risulta dalla varia tensione delle loro corde, producono un suono che risulta dolce anche all'orecchio di chi non è in grado di distinguere le note che la compongono; così dai diversi spiriti (siamo nel Cielo di Marte) si diffondeva lungo la croce, armonizzandosi, un canto che mi rapiva in estasi, sebbene io non riuscissi a percepire distintamente le parole del testo.

Dati gli studi e le fonti di studio, a Dante non dovevano mancare i rudimenti della propagazione delle onde, come testimonia questo passo:

« Dal centro al cerchio, e sì dal cerchio al centro
movesi l'acqua in un ritondo vaso,
secondo ch'è percosso fuori o dentro »
(Par. XIV, 1-3)

In pratica, in un vaso rotondo l'acqua si muove in cerchi concentrici, che si rimpiccioliscono via via dal bordo verso il centro, se il vaso è percosso sull'orlo, e dal centro verso l'esterno, se l'acqua è percossa al centro del vaso. A Dante viene in mente questo fenomeno, quando constata che il colloquio a cui ha appena assistito nel Cielo del Sole è avvenuto secondo le medesime modalità: prima parlava San Tommaso, e le parole venivano dal Cerchio dei Beati verso il centro; poi, non appena il Santo aveva taciuto, gli era subentrata Beatrice, le cui parole si muovevano dal centro in direzione della corona. Ha dell'incredibile la facilità con cui l'Alighieri attinge all'esperienza per descriverci anche le situazioni più complesse e più difficili da esprimere.

Anche per l'acustica vale il fenomeno della riflessione, ed un esempio tipico è l'eco che Dante cita nel canto XII del Paradiso, proprio là dove ha parlato dei due arcobaleni:

« a guisa del parlar di quella vaga
ch'amor consunse come sol vapori »
(Par. XII, 14-15)

Quella "vaga" (errante) è Eco, che secondo la mitologia greca era una ninfa delle Oreadi (cioè delle montagne), condannata a ripetere solo le ultime parole di chi le si rivolgeva, senza poter articolare parole proprie. Attraverso semplici calcoli è possibile dimostrare che l'eco, per aver luogo, occorre che la parete riflettente sia posta ad almeno 17 metri di distanza, perché al di sotto di tale distanza il suono diretto subisce interferenza con il suono riflesso, ed allora non si parla più di eco ma di rimbombo. Persino il fenomeno del rimbombo è noto al nostro poeta, perchè così egli inizia il canto dell'Inferno dedicato ai tre sodomiti fiorentini Guido Guerra, Tegghiaio Aldobrandi e Jacopo Rusticucci:

« Già era in loco onde s'udìa 'l rimbombo
de l'acqua che cadea ne l'altro giro,
simile a quel che l'arnie fanno rombo... »
(Inf. XVI, 1-3)

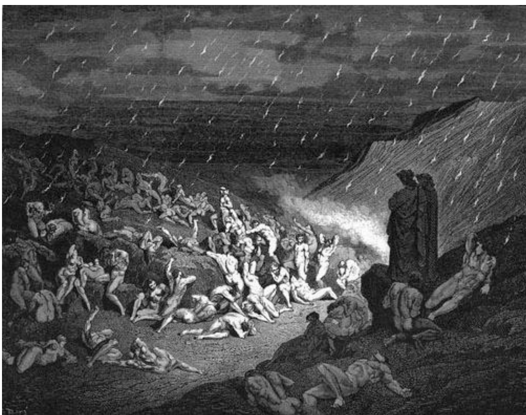
In questo caso il rimbombo è quello dell'acqua del ruscello sui cui argini Dante sta camminando, precipitando con una fragorosa cascata nel cerchio sottostante; e bene fa l'Alighieri a descrivere questo suono roboante come il ronzio di grandi sciami d'api. Infatti il fenomeno di interferenza fra onda diretta ed onda riflessa rende indistinguibili le parole; e così la mente umana cerca di ricostruire in esse frasi intelligibili, come del resto fa

quando ascolta il brusio di uno sciame d'api o il canterellare di un flusso d'acqua fra le rocce.

5. La termodinamica

L'Inferno è per definizione un luogo caldo, dominato da fiamme, fiumi di fuoco, lava, piombo fuso, e mille altri tormenti infuocati. Basti leggere questa magistrale descrizione del terzo girone del settimo cerchio infernale, dove sono puniti i Violenti contro Dio, cioè i Bestemmiatori, per rendersi conto dell'ambiente nel quale ci troviamo. Agli occhi di Dante si presenta uno spettacolo atroce, disegnato con tono impassibile e con toni quasi da saggio scientifico: un immenso deserto di sabbia, su cui piovono larghe falde di fuoco come fiocchi di neve sulle Alpi, molto larghi per l'assenza di vento che tenderebbe a polverizzarli:

« Sovra tutto 'l sabbion, d'un cader lento,
piovean di foco dilatate falde,
come di neve in alpe sanza vento."
(Inf. XIV, 28-30)



Nonostante tanta immaginazione, non esisteva ancora una Termodinamica come noi oggi la conosciamo, cioè come ramo distinto della fisica che studia il calore (e più in generale la sua possibilità di trasformarlo in lavoro meccanico) ed i suoi fenomeni, ed in particolar modo il comportamento dei gas. Già nell'antichità il calore era stato oggetto di studio da parte di Aristotele ed ***Erone di Alessandria*** (I secolo a.C.) riuscì ad ideare e realizzare un primissimo modello di macchina a vapore. Sicuramente uno dei primi fenomeni termodinamici a colpire l'attenzione dei filosofi naturali fu quello relativo ai passaggi di stato della materia. Ecco un esempio di come Dante descrive il fenomeno della fusione, ossia il passaggio di stato da solido a liquido:

« Or, come ai colpi de li caldi rai
de la neve riman nudo il suggetto
e dal colore e dal freddo primai... »
(Par. II, 106-108)

Commentiamo: come, esposto ai caldi raggi del sole, il "suggetto" della neve, cioè l'acqua, rimane "nudo", cioè spoglio delle sue qualità come il biancore o la bassa temperatura, per le quali appariva come neve, eccetera. Qui "suggetto" è il "subiectum" dei filosofi scolastici, per i quali la materia prima era una potenzialità verso forme accidentali. In questo caso, verso i passaggi di stato. Un altro esempio di passaggio di stato che chiama in causa la neve è nell'ultimo Canto della Commedia:

« Così la neve al sol si disigilla »
(Par. XXXIII, 64)

Qui "disigilla" sta per "perdere la forma": infatti, sciogliendosi la neve distrugge il reticolo cristallino formato dalle molecole d'acqua, tornando allo stato liquido. Anche il fenomeno dell'evaporazione, che provoca la dissoluzione delle nebbie al levarsi del Sole, non poteva mancare nella Divina Commedia:

« ...a guisa del parlar di quella vaga
ch'amor consunse come sol vapori »
(Par. XII, 15)

e ancora:

« Sì come il sol che si cela elli stessi
per troppa luce, come 'l caldo ha róse
le temperanze d'i vapori spessi,
per più letizia sì mi si nascose
dentro al suo raggio la figura santa »
(Par. V, 133-137)

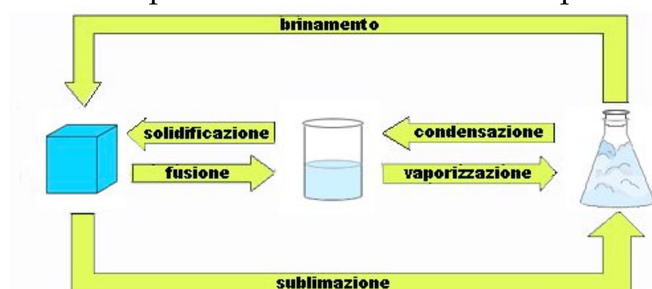
Così come il Sole si nasconde da se stesso per via dell'eccesso della sua luce appena con il calore dei suoi raggi ha diradato i fitti vapori (le nebbie) che prima lo velavano e ne attenuavano il fulgore, allo stesso modo per l'accresciuta letizia si nascose alla mia vista l'anima santa di Giustiniano, avvolgendosi nei suoi raggi di luce.

La nebbia altro non è che una nube formatasi a contatto con il suolo, costituita da goccioline di acqua liquida sospese in aria. A causa della diffusione della luce solare da parte dell'acqua in sospensione, la nebbia si manifesta come un alone biancastro che limita la visibilità. Il calore del Sole naturalmente fa evaporare le goccioline in sospensione e dissolve le nebbie. Analogo fenomeno si ha nella rapida evaporazione mattutina della rugiada:

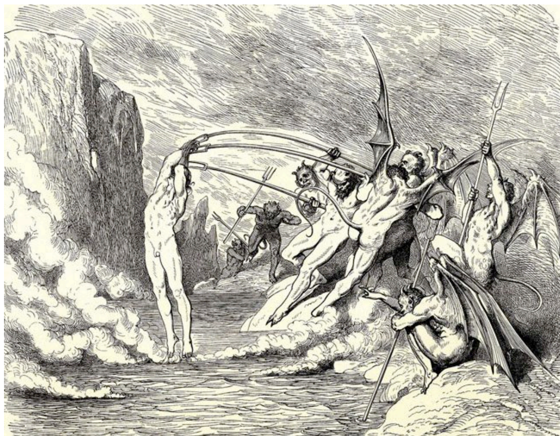
« Quando noi fummo là 've la rugiada
pugna col sole, per essere in parte
dove, ad orezza, poco si dirada... »
(Purg. I, 121-123)

Sembra quasi di vederla, questa rugiada che combatte con il Sole e resiste più a lungo, per il fatto di trovarsi in un luogo ombroso.

Si parla invece di ebollizione quando tutta la massa di fluido è coinvolta nel passaggio di stato, da liquido a vapore. Quando la temperatura del liquido si avvicina alla temperatura di ebollizione, che varia da sostanza a sostanza, dentro la massa liquida si formano le prime bolle di vapore, ma esse vengono schiacciate e distrutte dalla pressione atmosferica. Una volta raggiunta la temperatura di ebollizione, tuttavia, la pressione del vapore uguaglia la pressione atmosferica, ed allora le bolle che si sono enucleate sul fondo del recipiente (più vicino alla sorgente di calore) salgono in superficie, provocando il tipico ribollire. Queste bolle peraltro spingono sul fondo altro liquido, che a sua volta vaporizza, finché il processo non è completato. Ma leggiamo i versi di Dante in cui questo fenomeno compare:



« Quale ne l'arzanà de' Viniziani
bolle l'inverno la tenace pece
a rimpalmare i legni lor non sani [...]
tal, non per foco ma per divin' arte,
bollia là giuso una pegola spessa,
che 'nviscava la ripa d'ogne parte.
I' vedea lei, ma non vedëa in essa
mai che le bolle che 'l bollor levava,
e gonfiar tutta, e riseder compressa »
(Inf. XXI, 7-9.16-21)

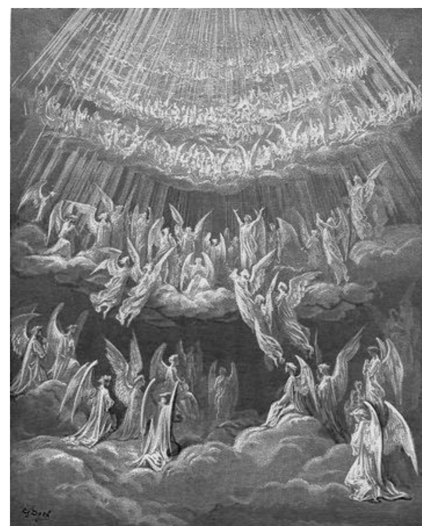


Siamo nella Quinta Bolgia, quella dei Barattieri, e guardando in essa a Dante sembra di essere nell'Arsenale di Venezia dove le navi venivano calafatate e rattoppate con pece bollente. Da notare che, in questo mostruoso ammasso colloso, Dante non vede altro che le bolle che salgono continuamente in superficie coinvolgendo tutto il volume del fluido.

Si parla infine di sublimazione quando si ha il passaggio di stato diretto da solido a vapore. Questo fenomeno avviene quando i raggi del sole mattutino investono la brina, minuscoli cristalli di ghiaccio depositatisi durante la gelida notte, ed essi si dissolvono immediatamente nell'atmosfera da cui provenivano. Ma lasciamo anche in questo caso la parola al nostro poeta:

« quando la brina in su la terra assempra
l'imagine di sua sorella bianca,
ma poco dura a la sua penna tempra »
(Inf. XXIV, 4-6)

Ossia: quando la brina sulla terra cerca di riprodurre l'immagine della sua bianca sorella (della neve), ma la tempera della penna con cui la brina "copia" la neve quasi disegnando, è di ben poca durata. Nella terza cantica si ha traccia persino del passaggio di stato inverso, il brinamento, allorché il nostro poeta vedere risalire all'Empireo quei beati che avevano sostato con lui nel Cielo delle Stelle Fisse:



« Sì come di vapor gelati fiocca
in giuso l'aere nostro, quando 'l corno
de la capra del ciel col sol si tocca,
in sù vid'io così l'etera addorno
farsi e fioccar di vapor trïunfanti
che fatto avien con noi quivi soggiorno. »
(Par. XXVII, 67-72)

In altre parole, così come l'atmosfera fa cadere in forma di fiocchi gelati i vapori umidi solidificati dal freddo, allorché il Sole si trova congiunto con la Costellazione del Capricorno (la "capra del ciel", dal 21 dicembre al 21 gennaio), così Dante vede lì adornarsi il

cielo delle fiamme splendenti delle anime, che erano sostate lì con lui, e fioccare verso l'alto. Nel pieno dell'inverno, il gelo è tale che l'umidità atmosferica passa direttamente dallo stato aeriforme a quello solido, sotto forma di brina.

Parlare dei passaggi di stato in generale, e dei passaggi di stato dell'acqua in particolare, ci conduce a pensare immediatamente al ciclo dell'acqua, che è una delle principali caratteristiche dell'idrosfera terrestre, e quindi del fenomeno delle precipitazioni atmosferiche. Il nostro autore vi accenna almeno in due passaggi importanti del Purgatorio. Il primo è il seguente:

« Libero è qui da ogne alterazione:
di quel che 'l ciel da sé in sé riceve
esser ci puote, e non d'altro, cagione.
Per che non pioggia, non grando, non neve,
non rugiada, non brina più sù cade
che la scaletta di tre gradi breve;
nuvole spesse non paion né rade,
né coruscar, né figlia di Taumante,
che di là cangia sovente contrade;
secco vapor non surge più avante
ch'al sommo d'i tre gradi ch'io parlai,
dov'ha 'l vicario di Pietro le piante. »
(Purg. 43-54)

Con queste parole Stazio, appena apparso a Dante e Virgilio intende dire che la Montagna del Purgatorio, a partire dalla porta che lo separa dall'Antipurgatorio, non sente alcuna alterazione dell'atmosfera, essendo collocata al di sopra del supposto limite delle precipitazioni atmosferiche. Su di essa possono essere avvertite solo le forze proprie del cielo, non della terra. Perciò, a partire dalla scaletta con tre gradini attraverso la quale si accede alla porta dove sta l'Angelo Guardiano (Purg. IV, 76-78), non cadono né pioggia, né grandine, né neve, né rugiada, né brina; non si addensano nubi, non scoccano lampi né compare l'arcobaleno (personificato negli antichi nella figlia di Taumante e di Elettra). Quanto al "secco vapor", la fisica aristotelica attribuiva la causa dei fenomeni atmosferici ai vapori che sorgono dalla terra: dai vapori umidi dipenderebbero le precipitazioni atmosferiche, da quelli secchi e rarefatti nascerebbero i venti, mentre quelli secchi e densi, imprigionati dentro le viscere della terra, produrrebbero i terremoti. Così si spiega anche lo strano fenomeno che provoca lo svenimento di Dante al momento di attraversare l'Acheronte:

« La terra lagrimosa diede vento,
che balenò una luce vermiglia
la qual mi vinse ciascun sentimento;
e caddi come l'uom cui sonno piglia »
(Inf. III, 133-136)

Questi vapori e questi venti non possono però salire oltre la seconda regione dell'aria, che è quella fredda, al confine superiore della quale l'Alighieri immagina posta la porta del Purgatorio vero e proprio. Secondo Aristotele, la sfera dell'aria sarebbe distinta in tre diverse regioni: quella inferiore o temperata, adatta alla vita umana; quella intermedia più fredda, dove si genererebbero le meteore; e quella più alta, serena e luminosa, posta oltre la zona delle tempeste. Alberto Magno e Tommaso

d'Aquino (Summa Theologica, I,CII,1) ritenevano che il Paradiso Terrestre fosse comunque situato nella prima zona, essendo l'unica adatta alla vita umana; Beda il Venerabile, San Bonaventura ed Egidio Romano lo ponevano invece nella terza zona, libera da ogni perturbazione, in modo da farne quasi una fotocopia dei pagani Campi Elisi, in cui freddo, vento, pioggia e inverno non esistevano. Dante si accorda con quest'ultima opinione, ponendo il Giardino dell'Eden in cima alla Montagna del Purgatorio.

Tuttavia, una volta raggiunto l'Eden, Dante si accorge che le foglie degli alberi stormiscono come se agitate da una brezza, e l'acqua dei fiumi del Paradiso sgorga proprio come fa sulla Terra; né del resto senza di essi gli alberi stessi del Paradiso Terrestre non potrebbero crescere. Come dunque spiegare questa apparente contraddizione con le suddette parole di Stazio? A rispondere al dubbio dantesco è Matelda, misterioso personaggio in cui alcuni vorrebbero vedere addirittura la madre del poeta (Matelda da "Mater Dantis"), la quale spiega:

« Perché 'l turbar che sotto da sé fanno
l'essalazion de l'acqua e de la terra,
che quanto posson dietro al calor vanno,
a l'uomo non facesse alcuna guerra,
questo monte salìo verso 'l ciel tanto,
e libero n'è d'indi ove si serra. »
(Purg. XXVIII, 97-102)

In pratica, affinché ai primi uomini, posti ad abitare nell'Eden, non recassero molestia ("guerra") le perturbazioni atmosferiche, prodotte - in accordo con la concezione di Aristotele - dai vapori emessi dalla terra e dalle masse d'acqua (le "esalazioni"), che tendono a salire quanto possono dietro il calore del sole, questo monte (quello del Purgatorio) si elevò tanto verso il cielo, che dal punto in cui si trova la porta di accesso ad esso, è libero da ogni perturbazione. In seguito Matelda spiega che il venticello dell'Eden è dovuto all'attrito dell'atmosfera, che si muove in circolo insieme ai Cieli superiori, contro l'elevatissima montagna del Purgatorio; e proprio i semi e le spore che il vento porta con sé dal Paradiso Terrestre, feconderebbero il mondo degli uomini e lo farebbero germinare

Quanto poi ai due fiumi del Purgatorio, il Lete e l'Eunoè, essi non scaturirebbero da una sorgente, ma da una miracolosa fontana sempre alimentata dalla volontà di Dio:

« L'acqua che vedi non surge di vena
che ristori vapor che gel converta,
come fiume ch'acquista e perde lena »
(Purg. XVIII, 121-123)

Insomma, la sorgente dei due fiumi del Paradiso non è alimentata dal vapore convertito in pioggia dal freddo della seconda fascia atmosferica, come fanno i fiumi della Terra, che accrescono o diminuiscono la loro portata a seconda dell'intensità delle piogge. Con queste ultime parole, Dante dimostra di essere al corrente del concetto di ciclo dell'acqua: il calore del Sole fa evaporare l'acqua di fiumi, laghi e mari, e questo vapore, a contatto con il freddo dell'alta atmosfera, si condensa e ricade sotto forma di precipitazioni (pioggia, grandine, neve, rugiada, brina...), alimentando i fiumi. La teoria dei semi del Paradiso portati sulla Terra dai moti globali dell'atmosfera ci ricorda poi i complessi movimenti delle masse d'aria da zone ad alta pressione (anticicloniche) a zone di bassa

pressione (cicloniche), come afferma la meteorologia moderna. Ancora una volta, l'interpretazione teologica è affiancata da una precisa conoscenza scientifica, a sua volta ricavata dall'attenta osservazione della Natura.

Così come la meccanica si basa sui tre famosi principi formulati da Galilei e Newton, anche la termodinamica si basa su tre altrettanto famosi principi, che però verranno formulati solo nel corso del XIX secolo. Il primo principio esprime la conservazione dell'energia tenendo conto della degradazione del lavoro in calore, e il terzo, che riguarda l'impossibilità di raggiungere lo zero assoluto con un numero finito di trasformazioni. Discorso diverso vale per il secondo principio della termodinamica, che può essere enunciato in due modi diversi ma equivalenti:

- ✓ Enunciato di Kelvin - È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di trasformare in lavoro meccanico il calore prelevato da un'unica sorgente.
- ✓ Enunciato di Clausisus - È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di trasferire calore da un corpo più freddo a uno più caldo.

Esiste però una terza formulazione, una volta che s'introduca il concetto di entropia, definita come il rapporto tra la quantità di calore fornita a un corpo lungo un processo reversibile e la temperatura a cui avviene lo scambio; il suo scopo è quello di misurare l'utilizzabilità dell'energia interna di un sistema termodinamico. Il secondo principio della termodinamica si può dunque così esprimere in termini di entropia:

- ✓ L'entropia totale dell'universo non cambia in un processo reversibile, ma aumenta sempre in un processo irreversibile.

Il fisico austriaco ***Ludwig Boltzmann*** (1844-1906) diede un'interpretazione statistica dell'entropia, trattando il gas come un sistema formato da numerosissime molecole ed applicando ad esse le leggi matematiche della statistica. Egli arrivò così ad interpretare l'entropia di un sistema come una misura del numero delle configurazioni che esso può assumere. Ecco perché un gas lasciato libero in un ambiente, diffonderà spontaneamente finché le molecole non saranno ugualmente distribuite in tutto l'ambiente. In sostanza il gas tende ad assumere lo stato più probabile e la probabilità di una distribuzione uniforme è di gran lunga maggiore di quella di una distribuzione asimmetrica. Il mondo si muove spontaneamente dall'ordine al disordine, e mai viceversa, perchè il disordine è infinitamente più probabile dell'ordine. E allo stato più probabile, cioè a quello più disordinato, corrisponde una entropia maggiore, per cui l'entropia può essere definita come il grado di disordine di un sistema. Dante, ovviamente, non è a conoscenza di tutto ciò che abbiamo detto a proposito dei principi della termodinamica e dell'entropia, ma ha ben compreso il concetto secondo il quale tutto tende al disordine, alla corruzione, e lo fa attraverso Beatrice nel Cielo di Mercurio con le seguenti parole:

« Tu dici: "Io veggio l'acqua, io veggio il foco,
l'aere e la terra e tutte lor misture
venire a corruzione, e durar poco »
(Par. VII, 124-126)

Il secondo principio della termodinamica definisce anche il verso della freccia del tempo, ossia il tempo scorre nella direzione che va dai sistemi ordinati verso quelli disordinati, e mai viceversa, e questo divieto mette la pietra tombale sulla speranza di mettere a punto una macchina del tempo per tornare nel passato.

« Se tu riguardi Luni e Orbisaglia
come sono ite, e come se ne vanno
di retro ad esse Chiusi e Sinigaglia,
udir come le schiatte si disfanno
non ti parrà nova cosa né forte,
poscia che le cittadi termine hanno.
Le vostre cose tutte hanno lor morte,
sì come voi; ma celasi in alcuna
che dura molto, e le vite son corte. »
(Par. XVI, 73-81)

Beatrice propone al suo amato gli esempi delle città di Luni (in Liguria) e di Urbs Salvia (nelle Marche), che un tempo erano grandi e potenti ed ora sono praticamente scomparse dalla carta geografica, e quelli delle città di Chiusi, antico centro etrusco ridotto oggi a piccolo paese, e di Senigallia, spaventosamente decaduta nel XIII secolo a causa dei saccheggi e della malaria; non c'è dunque da stupirsi che anche le potenti famiglie e dinastie cadano in decadenza e si estinguano. In alcune cose, invece, apparentemente la morte non si vede, ma solo perchè esse durano molto più a lungo della vita umana. Il che dimostra quanto abbiamo detto sopra: pur senza conoscere il concetto fisico-matematico di entropia, Dante aveva chiaro il fatto che tutte le cose vanno scivolando verso la corruzione e il disfacimento, quello che in termodinamica è noto come "morte termica” (uno stato in cui vi è la totale assenza di ogni processo fisico, chimico e biologico in quanto tutti i punti dell'universo hanno raggiunto la stessa temperatura e quindi vi è l’impossibilità di trasformare il calore in lavoro utile).

È importante notare che nell'Inferno il secondo principio della termodinamica sembra non valere. Ecco infatti ciò che capita al ladro pistoiese Vanni Fucci nella Settima Bolgia:



« Ed ecco a un ch'era da nostra proda,
s'avventò un serpente che 'l trafisse
là dove 'l collo a le spalle s'annoda.
Né O sì tosto mai né I si scrisse,
com'el s'accese e arse, e cener tutto
convenne che cascando divenisse;
e poi che fu a terra sì distrutto,
la polver si raccolse per sé stessa
e 'n quel medesmo ritornò di butto. »
(Inf. XXIV. 97-105)

In base al concetto di entropia, abbiamo imparato che un processo irreversibile ha una probabilità piccola, praticamente nulla di riportarsi nelle condizioni iniziali. Per esempio un corpo può disintegrarsi per qualche motivo, ma non vedremo mai la polvere che ne risulta ricomporre l'oggetto di partenza. È esattamente quello che succede, invece, nelle Malebolge. Del resto, è naturale che questo principio nell’Inferno sia ignorato: se infatti un dannato venisse disintegrato da un serpente infernale e tutto finisse lì, come potrebbe la sua pena essere eterna?

In assenza di una vera e propria scienza termodinamica, nel Medioevo i fenomeni legati al calore erano territorio di conquista per lo più per gli alchimisti, che si proponevano, come sommo traguardo, di realizzare la pietra filosofale, capace di trasmutare i metalli in oro. Impossibile a questo punto non nominare il

fiorentino Capocchio, incontrato da Dante nella decima bolgia tra i Falsari. Rivolgendosi al poeta, l'ombra di Capocchio, condannata ad essere eternamente malata di lebbra, così lo apostrofa:

« Sì vedrai ch'io son l'ombra di Capocchio,
che falsai li metalli con l'alchimia;
e te dee ricordar, se ben t'adocchio,
com'io fui di natura buona scimia. »
(Inf. XXIX, 136-139)

Ecco cosa dunque volevano essere gli alchimisti: "scimia di natura", cioè imitatori della natura nel creare materie nuove come i metalli preziosi. Ora, si sono sparsi fiumi d'inchiostro per cercare di dimostrare che anche Dante fosse un esperto di pratiche alchemiche ed esoteriche, ma nella Divina Commedia non vi è nessuna traccia, così come in nessuna altra opera dantesca.

Le premesse e le argomentazioni degli esoterici si basano sul fatto che tutte le pratiche alchemiche ruotano intorno al fuoco come elemento purificatore della materia, e il fuoco ricorre innumerevoli volte nell'Inferno, nel Purgatorio e persino nel Paradiso, dove le anime vengono spesso definite "fuochi". In particolare, tre versi hanno attirato l'attenzione degli studiosi di esoterismo:

« Così si fa la pelle bianca nera
nel primo aspetto della bella figlia
di quel ch'apporta mane e lascia sera... »
(Paradiso, XXVII, 136-138)

Questa terzina rappresenta uno dei più astrusi enigmi danteschi, ed ogni commentatore ne ha dato un'interpretazione diversa. E gli esoterici si sono impossessati di questi versi sostenendo che in essi va inteso un riferimento alchemico alla materia che si trasmuta passando dalla fase nera a quella bianca: la pietra nera, cioè la materialità plumbea-saturnina, opportunamente trattata darà origine alla pietra bianca per eccellenza, la pietra filosofale. La spiegazione probabile della terzina è invece molto meno esoterica, e verosimilmente allude all'abbronzatura, un fenomeno assai poco alchemico, tuttavia prodotto dalla "bella figlia", cioè dalla luce, di colui che giunge al mattino e se ne va alla sera, ovviamente il Sole; " Del resto, all'irraggiamento da parte del Sole (così in termodinamica è detto il trasporto di calore sotto forma di onde elettromagnetiche) Dante aveva già fatto riferimento nel Purgatorio:

« "O dolce lume a cui fidanza i' entro
per lo novo cammin, tu ne conduci",
dicea, "come condur si vuol quinc'entro.
Tu scaldi il mondo, tu sovr' esso luci;
s'altra ragione in contrario non ponta,
esser dien sempre li tuoi raggi duci" »
(Purg. XIII, 14-21)

A questo fenomeno, insieme astronomico e termodinamico, troviamo un altro riferimento sempre nella seconda cantica, allorché Dante usa una complicata perifrasi per spiegarci che ha un incubo poco prima del levare del Sole:

« Ne l'ora che non può 'l calor dïurno
intepidar più 'l freddo de la luna,
vinto da terra, e talor da Saturno... »
(Purg. XIX, 1-3)

In altre parole, nell'ora più fredda nella notte il calore assorbito dalla Terra nelle ore diurne è ormai spento, "vinto" dal freddo naturale della Terra e dalle irradiazioni gelide del pianeta Saturno ("talor", perchè ciò accade quando Saturno si trova sopra l'orizzonte), e non può più compensare la corrente di gelo proveniente dalla Luna. Infatti, per le conoscenze scientifiche del tempo, così come il Sole irraggia il calore sulla Terra, così la Luna irraggia il freddo, e Saturno può fare altrettanto.

Del fatto che non soltanto il Sole, ma qualunque corpo rovente irraggia calore (l'irraggiamento è cioè l'unico mezzo per trasportare calore nel vuoto, ma si verifica anche in presenza di materia) troviamo accenno anche in questa similitudine, nella quale Dante ci dice che molte braci accese irraggiano come un sol corpo, proprio come dagli spiriti del Cielo di Giove, disposti a formare un'aquila, si sprigiona una voce sola, e non un coro:

« Così un sol calor di molte brage
si fa sentir, come di molti amori
usciva solo un suon di quella image. »
(Par. XIX, 19-21)

Tre sono le forme nelle quali il calore si propaga: conduzione, convezione e, appunto, irraggiamento.

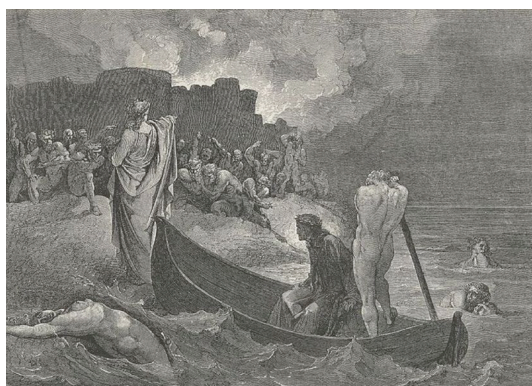
Se l'irraggiamento prevale nel vuoto, la conduzione (trasferimento di calore senza trasporto di materia) è tipica dei solidi, mentre la convezione (trasferimento di calore con trasporto di materia) caratterizza i fluidi. Di quest'ultimo fenomeno Dante lascia traccia nel Paradiso:

« Poi, come nel percuoter d'i ciocchi arsi
surgono innumerabili faville,
onde li stolti sogliono agurarsi... »
(Par. XVIII, 100-102)

Il legno che brucia, se percosso, si disintegra in tanti frammenti incandescenti, e questi, essendo leggeri, vengono portati verso l'alto dall'aria riscaldata dal fuoco, per mezzo del fenomeno della convezione.

Concentriamoci ora sul concetto di irraggiamento, perchè l'Alighieri ci permette di approfondire adeguatamente anche questo argomento. Al tempo di Dante il fuoco era parte integrante non solo dell'alchimia, ma anche della metallurgia. Di metallurgia parlano l'anonimo *Mappae clavicula de efficiendo auro* (Chiave della formula per lavorare l'oro) dell'VIII secolo e il *Diversarum artium schedula* (Saggio su varie arti) del monaco Teofilo (XI secolo); e le tecniche siderurgiche cominciarono a fare grandi passi in avanti proprio all'epoca di Dante. A quest'epoca appartengono infatti i *Kriegsbücher* (Libri sulla guerra), ed i *Rüstungsbücher* (Libri sull'armamento), che trattano della metallurgia finalizzata alla fabbricazione di armi. L'acciaio utilizzato nel XIII secolo per la fabbricazione di armi ed armature era una lega di ferro e carbonio (quest'ultimo con tenore inferiore al 2,1%) anche se nel Medioevo nessuno era in grado di determinare a priori il tenore di carbonio nell'acciaio. I Romani avevano usato forni a tino con tiraggio naturale, ma nel XIII secolo

l'acciaio era già ottenuto grazie ad antenati dei moderni altiforni, i cui mantici erano azionati da mulini: il ferro fuso veniva fatto colare in modo che entrasse in contatto con il carbonio e ne sciogliesse una parte, integrandola nella sua struttura e poi solidificandosi come acciaio o ghisa. La lega ottenuta in tal modo veniva successivamente arroventata assieme a barre di ferro dolce, e quindi avvolta con esse in modo da formare una treccia, che veniva ribattuta in modo da far saldare assieme i due materiali e dargli la forma della lama della spada. Visto che le tecniche siderurgiche a inizio Trecento erano già così avanzate, non è certo un caso se le mura della Città di Dite al nostro poeta appaiono di ferro incandescente:



« E io: «Maestro, già le sue meschite
là entro certe ne la valle cerno,
vermiglie come se di foco uscite
fossero». Ed ei mi disse: «Il foco etterno
ch'entro l'affoca le dimostra rosse,
come tu vedi in questo basso inferno».
Noi pur giugnemmo dentro a l'alte fosse
che vallan quella terra sconsolata:
le mura mi parean che ferro fosse. »
(Inf. VIII, 70-78)

L'insegnamento scientifico che qui possiamo trarne è fornito da quel colore rosso delle mura arroventate dal fuoco eterno. Infatti oggi sappiamo che, quando si somministra calore ad un corpo, i suoi elettroni saltano su un livello energetico superiore (si eccitano); ma su di esso non possono restare a lungo. Ritornando al loro livello energetico, essi emettono la differenza di energia tra i due livelli sotto forma di radiazione elettromagnetica (tale fenomeno prende il nome di diseccitazione). Ciò provoca il fenomeno dell'irraggiamento, cioè dell'emissione di radiazione da parte del corpo riscaldato, la cui frequenza è proporzionale alla suddetta differenza di energia secondo l'equazione di Planck: $E=hf$ (f è la frequenza ed h=6,63 x 10^{-34} J·s la costante di Planck). Se la temperatura non è sufficiente, il corpo riesce ad emettere solo raggi infrarossi (con frequenza inferiore a quella della luce rossa), ma se essa sale, la frequenza arriva a quella della luce rossa (quella con frequenza, e quindi con energia minima): ed ecco perchè il ferro arroventato diventa rosso. Aumentando ulteriormente la temperatura, si arriva al colore giallo; aumentandola ancora, il ferro fuso emette su tutte le frequenze della luce visibile, ed irraggia perciò una luce bianca. Per questo si dice che il corpo diventa incandescente (dal latino candesco, "divento bianco"). Troviamo un riferimento a questo fenomeno nei seguenti versi del Paradiso, allorché Dante fissa direttamente il Sole:

« Io nol soffersi molto, né sì poco,
ch'io nol vedessi sfavillar dintorno,
com' ferro che bogliente esce del foco »
(Par. I, 58-60)

ed anche in quest'altra terzina, dove il ferro incandescente è chiamato in causa per dare ai lettori un'idea della luminosità dei cerchi angelici:

« E poi che le parole sue restaro,
non altrimenti ferro disfavilla
che bolle, come i cerchi sfavillaro »
(Par.XXVIII, 88-90)

Quello ora descritto in poche parole è il cosiddetto "spettro di corpo nero", cioè la tipica emissione di un oggetto ideale che assorbe tutta la radiazione elettromagnetica incidente senza rifletterne alcuna porzione. Nonostante il nome, però, il corpo non appare necessariamente nero, perchè non riflette la radiazione ricevuta ma può emetterne di propria.

6. L'elettromagnetismo

Per concludere gli argomenti che fanno parte della cosiddetta fisica classica, vediamo se nella Divina Commedia ci sono anche riferimenti alla teoria elettromagnetica. Le proprietà elettriche e magnetiche della materia furono scoperte da ***Talete*** (624-547 a.C.), che si accorse che un frammento d'ambra, strofinato, attirava piume e frammenti di carta, e chiamò elettricità questo fenomeno. D'altro canto, egli si accorse anche che un particolare minerale estratto da una miniera presso Magnesia, in Asia Minore, attirava chiodi ed altri oggetti di ferro. Per questo chiamò il minerale magnetite e il fenomeno magnetismo. È solo nell'Ottocento che ***Maxwell*** (1831-1879) dimostrerà che i due fenomeni potevano essere unificati, cioè descritti dalla stesse leggi, in un'unica teoria, appunto quella elettromagnetica. Comunque Dante conosceva bene la "terrella", un modello sferico ideato da ***Pietro Pellegrino*** nel 1269, che doveva riprodurre le caratteristiche magnetiche della Terra, poiché lo cita allorquando sente la voce di San Bonaventura e si volta verso di lui con la prontezza con cui l'ago magnetizzato si volge verso la Stella Polare:

« Del cor de l'una de le luci nove
si mosse voce, che l'ago a la stella
parer mi fece in volgermi al suo dove »
(Par. XII, 28-30)

Nel 1733 ***Charles de Cisternay du Fay*** distinse tra "elettrizzazione vetrosa" ed "elettrizzazione resinosa" (quelle che noi oggi chiamiamo rispettivamente "carica positiva" e "carica negativa"), e scoprì che cariche opposte si attraggono, cariche uguali si respingono, proprio come i poli del magnete. Proprio quest'ultima scoperta ci riconduce ad un altro dei motivi di dubbio per Dante, nella sua ascesa verso l'Empireo, il concetto dell'incompenetrabilità dei corpi:

« S'io era corpo, e qui non si concepe
com'una dimensione altra patio,
ch'esser convien se corpo in corpo repe »
(Par. II, 37-39)

Dante è asceso nel Cielo della Luna ed è penetrato dentro la gemma incorruttibile rappresentata dal disco lunare. E qui gli sorge un dilemma: posto che io fossi un corpo solido, qui sulla Terra non si riesce a comprendere come un corpo esteso ("una dimensione") abbia potuto compenetrarsi con un'altra, il che necessariamente avviene quando un corpo si insinua ("repe") in un altro senza distruggerne la compattezza. Il problema dell'incompenetrabilità dei corpi, qui accennato, fu risolto solo nel XX secolo con la teoria atomica. Le orbite elettroniche degli atomi superficiali del corpo da compenetrare sono nuvole di carica negativa, che respingono le nuvole di carica negativa rappresentate dagli elettroni dello strato atomico superficiale del corpo compenetrante.

Il più grande studioso dei fenomeni elettrici del Settecento fu sicuramente l'americano ***Benjamin Franklin*** (1706-1790), al quale si deve la dimostrazione che il fulmine è un fenomeno elettrico. Dante conosceva molto bene il fenomeno del fulmine, ma non lo attribuiva a una scarica elettrica, bensì a fuoco che, contro la sua natura che lo porterebbe verso l'alto, si scarica invece verso il basso, come si legge nel primo canto del Paradiso:

« ...e sì come veder si può cadere
foco di nube... »
(Par. I, 133-134)

Nel secondo libro delle sue *Naturales Quaestiones*, ***Seneca*** (4 a.C.-65 d.C.) si occupò di fulmini, distinguendone tre diversi tipi: il fulmine che incendia, quello che distrugge e quello che non distrugge, e riconosce che tutti e tre nascono nell'aria dall'urto delle nubi. Ereditata da Dante questa congettura, la ripropone nella seguente terzina del Purgatorio:



« Non scese mai con sì veloce moto
foco di spessa nube, quando piove
da quel confine che più va remoto... »
(Purg. XXXII, 109-111)

ed in quest'altra del Paradiso:

« Come foco di nube si diserra
per dilatarsi sì che non vi cape,
e fuor di sua natura in giù s'atterra... »
(Par. XXIII, 40-42)

Ma forse la confusione si può perdonare se sostituiamo alla parola "fuoco" la parola "plasma". Si chiama plasma il quarto stato di aggregazione della materia così battezzato da ***William Crookes*** (1832-1919), costituito da un gas ionizzato, in cui cioè gli elettroni siano in larga misura separati dai loro atomi. Il plasma è globalmente neutro ma formato da particelle cariche, e da ciò dipende il suo moto. Siccome il fulmine rappresenta una scarica elettrica da un miliardo di Volt concentrata in una colonna di gas il cui diametro è compreso tra 10 cm e un metro, per un'intensità di corrente di oltre 100.000 Ampére, l'aria viene bruscamente ionizzata ed il lampo risulta effettivamente costituito da una colonna di plasma. Sulla Terra lo stato di plasma è piuttosto raro e limitato, ma nell'universo più del 99% della materia conosciuta si trova sotto forma di plasma, perché in questo stato si trovano le stelle, le nebulose ed anche il nostro Sole. Incredibilmente, Dante potrebbe aver visto giusto un'altra volta.

7. La fisica del caos

Questo paragrafo è dedicato alle simmetrie, all'ordine e al disordine nella fisica, e cercare di capire se nella Divina Commedia ci sono riferimenti in tal senso. La fisica può essere interamente descritta facendo ricorso ai cosiddetti principi di conservazione. Essi descrivono la conservazione nel tempo in un sistema di una grandezza fisica, e sono

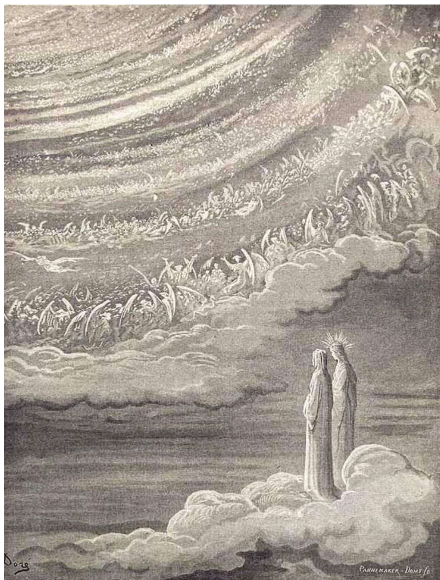
incredibilmente utili nella risoluzione di problemi, apparentemente complessi. Nella fisica classica essi sono:

- ✓ <u>Principio di conservazione dell'energia meccanica</u> – L'energia meccanica di un sistema fisico (energia cinetica + energia potenziale) si conserva in presenza di forze conservative.
- ✓ <u>Principio di conservazione della quantità di moto</u> – La quantità di moto totale (prodotto della massa per la velocità) di un sistema fisico isolato si conserva.
- ✓ <u>Principio di conservazione del momento angolare</u> - In un sistema fisico isolato, il momento angolare di un corpo (prodotto vettoriale tra il raggio di rotazione e la quantità di moto) resta costante.

Che le leggi di conservazione portino ordine nella fisica è fuor di dubbio, tanto che Lagrange dedusse l'intera meccanica dai principi di conservazione di energia, quantità di moto e momento angolare. Ma sarebbe difficile comprendere il legame tra legge di conservazione e simmetrie, senza il contributo fondamentale di ***Amalie Nöther*** (1882-1935), che ci ha lasciato in eredità un prezioso teorema, che nella sua formulazione più accessibile dice:

<u>Teorema di Nöther</u> - Se un sistema fisico mostra una qualche simmetria, allora vi sono delle corrispondenti grandezze i cui valori sono costanti nel tempo.

Il suo significato è questo: se nello spazio e nel tempo non vi sono né punti né istanti privilegiati, allora certe grandezze devono essere le stesse in tutti questi punti. Ma allora, spostandomi da un punto all'altro, non devo notare alcuna differenza, e questo avviene se l'universo che mi circonda gode di un qualche tipo di simmetria.



Nell'universo di Dante qualcosa del genere accade. Riguardo allo spazio, basta pensare a quando egli giunge nel Primo Mobile, il cielo che attribuisce il moto a tutti gli altri cieli. Questa è la prima impressione che egli ne riceve:

« Le parti sue vivissime ed eccelse
sì uniforme son, ch'i' non so dire
qual Bëatrice per loco mi scelse. »
(Par. XXVII, 100-102)

Come si vede, in questo cielo non ci sono punti privilegiati rispetto agli altri; esso appare al nostro poeta del tutto uniforme, cioè dotato di simmetria sferica. Riguardo poi al tempo, ecco come si rivolge al suo avo Cacciaguida, desideroso di conoscere qualcosa di più circa il proprio futuro:

« ...Così vedi le cose contingenti
anzi che sieno in sé, mirando il punto
a cui tutti li tempi son presenti »
(Par. XVII, 16-18)

Dio è il punto per il quale tutti i tempi sono presenti: ogni istante di tempo è indistinguibile dagli altri, per cui l'universo per lui è assolutamente uniforme nel tempo. Appare allora evidente che, tanto in un universo dotato di simmetria sferica, quanto in

uno privo di istanti privilegiati ed uniforme nel tempo, qualcosa deve apparire assolutamente invariante, altrimenti la simmetria sarebbe spezzata.

Le conseguenza del teorema di Nöther pertanto sono: l'uniformità dello spazio comporta la conservazione della quantità di moto; l'isotropia dello spazio comporta la conservazione del momento angolare; l'invarianza dei risultati degli esperimenti rispetto all'istante in cui sono stati eseguiti comporta la conservazione dell'energia meccanica totale.

Fissiamo adesso l'attenzione sul principio di conservazione della quantità di moto, e, come esempio, osserviamo questo esametro di Virgilio tratto dall'Eneide:

« Quadrupedante putrem sonitu quatitu ungula campum »
[Batte con tonfo quadruplice la terra dei campi lo zoccolo] (
(Eneide VIII, 596)

A differenza della metrica italiana, basata sugli accenti, quella greca e latina è quantitativa, cioè basata sulla lunghezza delle sillabe. L'esametro, come dice la parola, è formato da sei metri o piedi; i primi quattro possono essere dattili (una sillaba lunga accentata e due brevi) o spondei (due sillabe lunghe, la prima accentata), il quinto in genere è sempre dattilo, il sesto è spondeo oppure trocheo (una sillaba lunga accentata e una breve). L'esametro pentadattilico, formato cioè da cinque dattili e da uno spondeo o trocheo, è in effetti piuttosto infrequente; quando lo si incontra, molto probabilmente è perchè il poeta ha voluto che quel particolare verso fosse strutturato in quel modo. Consideriamo l'esempio fornito qui sopra, e trascriviamolo in questo modo, mettendo in evidenza in maiuscolo le sillabe accentate:

QUA dru pe | DAN te pu | TREM so ni | TU qua tit | UN gu la | CAM pum

Appare evidente che tutti e cinque i dattili hanno la stessa struttura ritmica. Proviamo a far scivolare il quinto dattilo in prima posizione, traslando in avanti tutti gli altri di un piede:

tUN gu la | QUA dru pe | DAN te pu | TREM so ni | TU qua ti | CAM pum

Inglobando la "t" finale di "quatit" nella sillaba lunga iniziale di "ungula", ci accorgiamo che la musicalità del verso è rimasta la stessa! Eseguiamo di nuovo la stessa operazione:

TU qua tit | UN gu la | QUA dru pe | DAN te pu | TREM so ni | CAM pum



Nulla cambia. Provando fino a girare tutti dattili, appare evidente che il verso è caratterizzato da una simmetria traslazionale fonica. Poiché essa comporta la conservazione della quantità di moto dei cavalli di Enea e dei suoi uomini, noi avvertiamo per onomatopea il suono di quella cavalcata, di quel ritmico battere dello zoccolo sui sassi. È la stessa impressione che noi ricaviamo osservando questa metopa di ***Fidia*** (490-430 a.C.) proveniente dal Partenone di Atene e risalente

al 447 a.C. Qui però l'idea della conservazione del momento angolare è fornita all'osservatore non fonicamente, ma per immagini: i cavalli sono tutti identici fra di loro, come i loro cavalieri, e dunque possono essere tranquillamente traslati gli uni sugli altri, dando l'idea della conservazione della quantità di moto e quindi della cavalcata a ritmo costante, soprattutto attraverso quel groviglio di garretti e di zoccoli che sembrano materialmente alzarsi e abbassarsi per sovrapporsi gli uni agli altri, in un perenne inseguimento che dura ormai da quasi 25 secoli.

Ma nella Divina Commedia esistono esempi di applicazione del teorema di Nöther e delle simmetrie che portano alle leggi di conservazione della meccanica classica? Naturalmente sì. Analizziamo ad esempio la seguente terzina:

« Come fa l'onda là sovra Cariddi,
che si frange con quella in cui s'intoppa,
così convien che qui la gente riddi »
(Inf. VII, 22-24)

Si noti che il primo verso può essere così suddiviso:

Co me fa | L'ON da là | So vra Ca | RID di

La struttura è la medesima dell'esametro virgiliano da noi analizzato sopra: se facciamo passare in secondo piano l'accento sul "là", scopriamo che il verso è formato da tre dattili e un trocheo, e dunque è studiato appositamente per assicurare, attraverso la simmetria traslazionale, la conservazione della quantità di moto delle acque del mare, tanto che ci sembra di vedere queste tre onde, le cui creste sono rappresentate dalle sillabe CO, L'ON, SO, avanzare verso i terribili scogli dello Stretto di Messina. E non è tutto, perchè il verso successivo sembra avere una struttura del tutto speculare:

che si FRAN | ge con QUEL | la-in cui s'in TOP | pa

I primi due sono dattili rovesciati, con l'ultima sillaba accentata delle tre, mentre il terzo è un gruppo di quattro sillabe di cui l'ultima accentata, se consideriamo secondario l'accento su "cui". Qui appare evidente la rottura della simmetria traslazionale rispetto al verso precedente: l'andamento è anzi il contrario, tanto da visualizzare ai nostri occhi l'immagine di tre onde che viaggiano in direzione contraria verso le tre dell'emistichio precedente, fino ad "intopparsi" in esse. E si noti che la rottura di simmetria è evidente anche nel fatto che a tre terne di sillabe segue un gruppo di quattro, il che ci fa pensare che l'ultima onda sia maggiore e più veloce delle altre, tanto da spingerle fragorosamente ad infrangersi contro quelle del verso 22.

Ma sicuramente il brano dantesco in cui è più evidente il concetto di simmetria è quello degli esempi di superbia punita, una delle costruzioni più raffinate di tutta la poesia dantesca. Gli esempi sono in tutto tredici, ognuno dei quali occupa una terzina, e sono divisi in tre gruppi di quattro, più una conclusione riassuntiva. I primi quattro sono esempi di superbia contro la Divinità, punita da Dio stesso:

« Vedea colui che fu nobil creato
più ch'altra creatura, giù dal cielo
folgoreggiando scender, da l'un lato.

Vedëa Brïareo, fitto dal telo

celestïal giacer, da l'altra parte,
grave a la terra per lo mortal gelo.

Vedea Timbreo, vedea Pallade e Marte,
armati ancora, intorno al padre loro,
mirar le membra d'i Giganti sparte.

Vedea Nembròt a piè del gran lavoro
quasi smarrito, e riguardar le genti
che 'n Sennaàr con lui superbi fuoro. »
(Purg. XII, 25-36)

Tutti e quattro sono introdotti dalla formula d'apertura "VEDEA", probabilmente ricavata dalla seguente citazione evangelica: «*Egli disse: "Io vedevo Satana cadere dal cielo come la folgore*"» (Luca 10, 18). Evidenti sono i quattro esempi: Satana, colui che era stato creato migliore di ogni altra creatura, è precipitato dal Paradiso per la sua ribellione contro Dio; Briareo è stato abbattuto dalle frecce divine per aver tentato di dare la scalata all'Olimpo; i Giganti sono stati fatti a pezzi da Apollo (detto "Timbreo" perchè era venerato nel santuario di Timbra, nella Troade), Athena, Ares e Zeus dopo che si erano ribellati all'autorità di quest'ultimo; e Nembròt, il biblico gigante che non riesce a portare a termine la Torre di Babele ("il gran lavoro") nella pianura di Sennaàr (Babilonia), e guarda ormai rassegnato i suoi compagni di cui non intende più le lingue.

Seguono poi quattro esempi di vanagloriosi che causarono la rovina di se stessi, puniti dal proprio rimorso, ed introdotti dall'invocazione "O" seguita da un nome proprio:

« O Nïobè, con che occhi dolenti
vedea io te segnata in su la strada,
tra sette e sette tuoi figliuoli spenti!

O Saùl, come in su la propria spada
quivi parevi morto in Gelboè,
che poi non sentì pioggia né rugiada!

O folle Aragne, sì vedea io te
già mezza ragna, trista in su li stracci
de l'opera che mal per te si fé.

O Roboàm, già non par che minacci
quivi 'l tuo segno; ma pien di spavento
nel porta un carro, sanza ch'altri il cacci. »
(Purg. XII, 37-48)

Stavolta i protagonisti sono Niobe, la figlia di Tantalo la quale osò vantarsi di aver avuto più prole della dea Latona (sette figli e sette figlie contro i due soli Apollo e Diana), la quale ordinò ai suoi due rampolli di uccidere tutti i quattordici dell'incauta madre; il re Saul che, abbandonato da Dio per la sua superba disobbedienza, morì suicida sul monte Gelboe dopo essere stato sconfitto dai Filistei; Aracne, la tessitrice della Lidia, che avendo sfidato Athena in una gara di abilità ed avendola vinta, fu trasformata in ragno dalla dea dopo che questa ebbe fatto a pezzi la sua tela; e Roboamo, figlio ed erede di Re Salomone che, avendo tentato di alzare le tasse, fu costretto a fuggire a Gerusalemme su un carro in seguito all'insurrezione del popolo.

Segue poi un terzo gruppo di terzine, contenente quattro esempi di superbi contro il prossimo, puniti dai loro avversari, ed introdotti dalla formula "MOSTRAVA", ovviamente "il pavimento", come detto nella prima terzina e sottinteso nelle altre tre:

« Mostrava ancor lo duro pavimento
come Almeon a sua madre fé caro
parer lo sventurato addornamento.

Mostrava come i figli si gittaro
sovra Sennacherib dentro dal tempio,
e come, morto lui, quivi il lasciaro.

Mostrava la ruina e 'l crudo scempio
che fé Tamiri, quando disse a Ciro:
«Sangue sitisti, e io di sangue t'empio».

Mostrava come in rotta si fuggiro
li Assiri, poi che fu morto Oloferne,
e anche le reliquie del martiro. »
(Purg. XII, 49-60)

Qui sono immortalati rispettivamente: Erifile, la moglie dell'indovino Anfiarao, il quale non voleva partecipare all'assalto dei Sette contro Tebe, avendo profetizzato che vi sarebbe morto; ma Argia, la moglie di Polinice, le promise un meraviglioso gioiello forgiato da Vulcano, che aveva già portato sfortuna a tutti i suoi possessori ("sventurato addornamento"), se avesse rivelato il suo nascondiglio. Erifile accettò, ma suo figlio Alcmeone la uccise per vendicare la morte del padre. Sennacherib, sovrano degli Assiri dal 704 al 681 a.C., che tentò di conquistare Gerusalemme, facendosi beffe della fiducia in Dio dimostrata dal re Ezechia, ma nella notte un Angelo sterminò il suo esercito, ed al suo ritorno a Ninive fu ucciso dai figli mentre pregava nel tempio del dio Nisroc. Ciro, che fu ucciso in battaglia da Tamiri, regina degli Sciti, a cui aveva fatto uccidere il figlio; Orosio racconta che Tamiri fece gettare la testa recisa di Ciro in un otre di sangue, pronunciando le parole che qui Dante riferisce. E Oloferne, generale dell'esercito assiro che si insuperbì al punto di voler conquistare il mondo intero, ma fu decapitato da Giuditta che lo aveva sedotto ("le reliquie del martiro" è probabilmente il suo corpo senza testa, abbandonato da Giuditta nella sua tenda).

A questi tre gruppi di terzine ne segue una conclusiva, che riguarda la città di Troia:

« Vedeva Troia in cenere e in caverne;
o Ilïón, come te basso e vile
mostrava il segno che lì si discerne! »
(Purg. XII, 61-63)

Come si vede, ogni verso della terzina è introdotto da una delle formule utilizzate nei gruppi precedenti. Tra l'altro le iniziali delle tre formule "Vedea", "O", "Mostrava" danno vita all'acrostico VOM, così da indicare che l'uomo è creatura superba per natura, fin dal principio della sua storia. Quello che a noi interessa notare è soprattutto la disposizione assolutamente simmetrica dei tredici esempi di superbia punita, secondo uno stile geometrizzante di gusto tipicamente medioevale. Vediamo in che modo una distribuzione così simmetrica ubbidisce al teorema di Nöther. Prendiamo le prime quattro

terzine: esse hanno la stessa iniziale, e non cambierebbe nulla, alla luce del racconto dantesco, se le sottoponessimo a permutazione circolare, cioè se invece della 1a, 2a, 3a e 4a le leggessimo in quest'ordine: 2a, 3a, 4a e 1a, oppure 3a, 4a, 1a e 2a, o infine 4a, 1a, 2a e 3a: la simmetria resterebbe rispettata. Ne consegue la simmetria traslazionale di questi versi, e quindi la conservazione della quantità di moto. Ma di chi? Di Dante, ovviamente, che sta avanzando per osservare i bassorilievi scolpiti sulla pavimentazione del girone. In pratica, i versi 25-36 ci danno l'idea che Dante avanzi progressivamente, con passo lento ma costante, sopra gli esempi di Satana, di Briareo, dei Giganti e di Nembròt, osservandoli e descrivendoli mentre procede dall'uno all'altra, quasi essi fossero i fotogrammi di un film. Non è certo un caso se alla fine il Poeta commenterà:

« Morti li morti e i vivi parean vivi:
non vide mei di me chi vide il vero,
quant'io calcai, fin che chinato givi. »
(Purg. XII, 67-69)

L'impressione del movimento dell'osservatore è dunque connaturato nella descrizione degli esempi di superbia. Tuttavia nei versi 37-48 cambia il modulo verbale, dal "Mostrava" si passa all'"O". Il 5°, il 6°, il 7° e l'8° esempio sono permutabili tra loro per simmetria traslazionale, ma non più con i primi quattro. Ciò fornisce l'impressione di un cambio di passo. Dante ha continuato ad avanzare sugli esempi di Niobe, Saul, Aracne e Roboamo, ma lo ha fatto con velocità diversa dai primi quattro. E siccome la particella "O" è più breve da pronunciare di "Mostrava", ci lascia pensare che il passo si sia fatto più svelto, come s Dante indugiasse maggiormente sugli esempi di superbia contro la Divinità, che non su quelli di vanagloria. Nei versi 49-60 la formula di introduzione cambia di nuovo, passando a un "Mostrava" che è più lungo (trisillabo) sia di "Vedea" (bisillabo) sia del monosillabico "O". Nel calpestare i bassorilievi di Erifile, Sennacherib, Ciro e Oloferne Dante procede ancora a velocità costante, ma più lentamente che nei due casi precedenti, forse perchè la storia di ciascuno è complessa da spiegare, come visto sopra, o perchè gli esempi di superbia contro il prossimo richiamano a Dante qualche fatto personale. Infine, i versi 61-63 sembrano indicare un nuovo cambio di passo, quasi una rapida corsa, come se il Poeta fosse stanco di tanta superbia mostrata davanti ai suoi occhi, e non vedesse l'ora di iniziare il cammino per salire alla nuova Cornice degli Invidiosi.

Il Teorema di Nöther presuppone l'esistenza di un preciso ordine nella natura, costituito dalle relazioni di simmetria a cui corrispondono le leggi di conservazione suddette. Se però la natura fosse ordinata, prevedibile, ci accorgiamo ben presto che il libero arbitrio umano verrebbe meno, perchè tutte le equazioni alla base della fisica classica e relativistica, sono equazioni lineari. Ciò significa che, a partire da determinate condizioni iniziali, esse possono portare ad una soluzione e ad una soltanto, in sostanza, nota la traiettoria è possibile stabilire in ogni istante la posizione di un corpo. Dunque, la fisica classica e quella relativistica sono fondamentalmente deterministiche, e non lasciano alcun grado di libertà alla nostra esistenza, come se tutta la storia dell'universo fosse già stata ineluttabilmente scritta fin da principio. Lo aveva capito bene il fisico francese ***Pierre Simon de Laplace*** (1749-1827), il quale così scrisse: *«Un'intelligenza che in un certo istante conoscesse tutte le forze che mettono la natura in moto e tutte le posizioni di tutti gli oggetti la quale natura è conosciuta, se questo intelletto fosse anche abbastanza vasto per analizzare questi dati, raccoglierebbe in una singola formula i movimenti dai più grandi corpi dell'universo a quelli del più piccolo atomo; per una tale intelligenza niente sarebbe incerto e il futuro, come il passato, sarebbe il presente ai suoi occhi.»*

Nel XVI canto del Purgatorio Dante discute ampiamente del libero arbitrio umano con Marco Lombardo (lo stesso da noi visto a proposito della relatività), il quale così lo mette in guardia:

« Voi che vivete ogne cagion recate
pur suso al cielo, pur come se tutto
movesse seco di necessitate.
Se così fosse, in voi fora distrutto
libero arbitrio, e non fora giustizia
per ben letizia, e per male aver lutto. »
(Purg. XVI, 67-72)

Naturalmente Marco Lombardo (attraverso cui parla lo stesso Dante) confuta questa opinione, riaffermando l'importanza della condotta umana:

« Ben puoi veder che la mala condotta
è la cagion che 'l mondo ha fatto reo,
e non natura che 'n voi sia corrotta. »
(Purg. XVI, 103-105)

Nel campo della fisica contemporanea, a confutare la convinzione che tutto sia già scritto, e che l'uomo sia una mera marionetta nelle mani della Divinità, viene la cosiddetta Teoria del Caos (e come vedremo dopo la meccanica quantistica con il principio d'indeterminazione), che studia attraverso modelli della fisica matematica sistemi fisici che esibiscono una sensibilità esponenziale rispetto alle condizioni iniziali. Abbiamo detto che le equazioni di Newton e di Einstein sono essenzialmente deterministiche, ma non tutti i fenomeni fisici sono prevedibili con tanta precisione. Nel 1979 il fisico ***Edward Lorentz*** (1917-2008) ipotizzava come il battito delle ali di una farfalla in Brasile, a seguito di una catena di eventi, potesse provocare un uragano nel Texas. Ma come è possibile che possa avvenire un fenomeno tanto incredibile? Perchè le equazioni del moto dell'aria nell'atmosfera terrestre sono equazioni non lineari. Se noi perturbiamo di pochissimo le condizioni iniziali di un sistema fisico che obbedisce ad equazioni lineari (deterministiche), anche l'evoluzione del sistema sarà perturbata di pochissimo. Al contrario, modificando anche solo lievemente le condizioni iniziali di un sistema soggetto ad equazioni non lineari, com'è appunto il battito d'ali di una farfalla, ci accorgeremo che le perturbazioni del sistema divergono all'infinito. Una piccola differenza all'inizio comporta un'evoluzione assolutamente non prevedibile. I sistemi che obbediscono a equazioni di questo tipo e che hanno questo genere di evoluzione inaspettata prendono il nome di sistemi caotici.

Nella Commedia di Dante vi sono molti esempi di sistemi caotici. Il più famoso è certamente la turba dei dannati che si affolla senza alcun ordine sulle rive dell'Acheronte, bramosa di essere traghettata al di là dalla barca di Caronte; il nostro poeta è talmente persuaso della caoticità di questo sistema da paragonarlo, per darcene un'idea, a un'altra delle situazioni più caotiche che ci possa venire in mente: la dispersione delle foglie d'autunno da parte del vento:

« Come d'autunno si levan le foglie
l'una appresso de l'altra, fin che 'l ramo
rende a la terra tutte le sue spoglie,
similemente il mal seme d'Adamo

gittansi di quel lito ad una ad una,
per cenni come augel per suo richiamo. »
(Inf. III, 112-117)

Se noi disponiamo cinquanta foglie secche nella stessa posizione per dieci volte e poi le soffiamo via per dieci volte sempre con la stessa intensità, vedremo che esse si disperderanno per dieci volte in maniera completamente differente. La stessa immagine è talmente legata nella nostra mente all'idea di caos, da tornare sotto forma di similitudine anche alla fine del Paradiso:

« Così al vento ne le foglie levi
si perdea la sentenza di Sibilla. »
(Par. XXXIII, 65-66)

Altri esempi di caoticità sono la gran folla di demoni che tenta di sbarrare ai due poeti, Dante e Virgilio, la porta della città di Dite:

«Io vidi più di mille in su le porte
da ciel piovuti, che stizzosamente
dicean: "Chi è costui che sanza morte
va per lo regno de la morta gente?" »
(Inf. VIII, 82-85)

e le anime degli Iracondi tuffate nello Stige, che non a caso all'arrivo del messo celeste si comportano come il fuggi fuggi delle rane appena spunta un serpente:

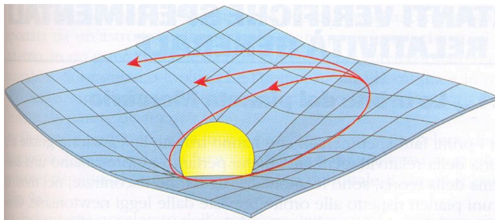


« Come le rane innanzi a la nimica
biscia per l'acqua si dileguan tutte,
fin ch'a la terra ciascuna s'abbica,
vid' io più di mille anime distrutte
fuggir così dinanzi ad un ch'al passo
passava Stige con le piante asciutte. »
(Inf. IX, 76-81)

In pratica, quasi tutti i fenomeni che riguardano l'esistenza umana subiscono un'evoluzione estremamente sensibile alle condizioni iniziali, e quindi risultano caotici. E dal momento che appare assolutamente impossibile prevedere l'evoluzione a lungo termine di siffatti sistemi, ciò garantisce l'impossibilità di prevedere il nostro futuro sulla base di una Fisica prevalentemente deterministica, e quindi il nostro libero arbitrio è ampiamente salvaguardato. D'altro canto, come ha osservato il grande fisico e divulgatore inglese ***Paul Davies*** (1946-), anche ammettendo di vivere all'interno di un cosmo puramente deterministico, se un'Entità superiore fosse in grado di prevedere esattamente le nostre scelte, non potrebbe assolutamente comunicarcelo, perchè se lo facesse noi modificheremmo di conseguenza le nostre "condizioni iniziali", e le sue previsioni sarebbero vanificate. Perciò Marco Lombardo, strenuo assertore del libero arbitrio umano, una volta finito di scontare la sua pena nel Purgatorio tra gli Iracondi, potrà godersi il meritato riposo eterno.

8. La relatività di Einstein

Nessuno è mai riuscito a fornire una rappresentazione dell'ipersfera (la sfera nello spazio a quattro dimensioni) migliore di quella che ce ne dà Dante per descrivere il Paradiso, che comunque analizzeremo approfonditamente nel capitolo 5. L'immagine di due insiemi di sfere concentriche ciascuno dei quali "inchiude" l'altro è un'oscura immagine poetica pressoché incomprensibile se si continua a vedere il Paradiso con gli occhi della geometria euclidea, cioè attraverso una rappresentazione aristotelica dell'universo, così come è riportato su tutte le edizioni scolastiche della Divina Commedia.

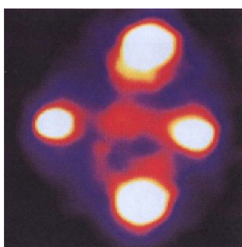


Per un cosmologo di oggi, la descrizione della forma ipersferica dell'universo dantesco è perfettamente riconoscibile, coincidendo con la struttura che un secolo fa Einstein ipotizzò costituire il nostro universo, e che oggi resta compatibile con le più recenti misure cosmologiche. La sfrenata fantasia poetica e la superiore intelligenza di Dante hanno incredibilmente anticipato, con tutte le cautele del caso, di sei secoli il modello elaborato dal massimo scienziato del Novecento attraverso la sua teoria della relatività generale, secondo la quale lo spazio-tempo viene letteralmente curvato dalla presenza di una massa, e le altre masse circostanti si muovono lungo questa curvatura. In altre parole, se la teoria della gravitazione universale di Newton spiegava il moto ellittico dei pianeti attorno al Sole mediante la forza attrattiva da parte di quest'ultimo, Einstein "geometrizza" la gravità, eliminando totalmente il concetto di forza che si esercita a distanza, e sostituendolo con la traiettoria in uno spazio-tempo incurvato. Questa curvatura dello spaziotempo è alla base del fenomeno della cosiddetta "croce di Einstein", cui vale la pena accennare. È ben noto che, nel Cielo di Marte, Dante vede i Beati, in continuo e vorticoso movimento, disporsi lungo le braccia di un'immensa croce, da cui si diffonde un canto melodioso:

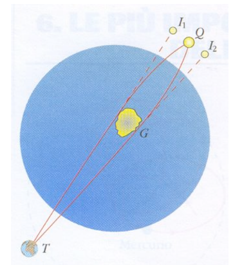


« Costellati facean nel profondo
Marte quei raggi il venerabil segno
che fan giunture di quadranti in tondo.
Qui vince la memoria mia lo 'ngegno;
ché quella croce lampeggiava Cristo,
sì ch'io non so trovare essempro degno;
...Da' lumi che lì m'apparinno
s'accogliea per la croce una melode
che mi rapiva, sanza intender l'inno. »
(Par. XIV, 100-105.121-123)

Il fatto è che, se puntiamo un telescopio verso il cielo profondo, scopriremo che delle croci nel firmamento esistono davvero. Basta osservare lo stranissimo quasar (oggetto quasi stellare) nella foto. Com'è possibile? In realtà si tratta di un'illusione ottica



dovuta al fenomeno detto della lente gravitazionale. Una galassia a noi molto più vicina del quasar, è interposta fra noi e l'oggetto più lontano. La sua grande massa incurva la luce del quasar, in modo da provocare un'amplificazione del segnale luminoso simile a quella causata da una lente di vetro con la luce visibile, nonché una moltiplicazione dell'immagine. Se poi la

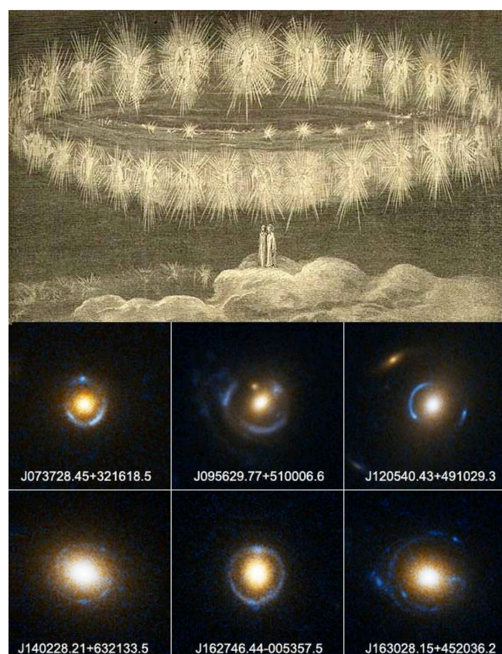


sorgente luminosa ed il corpo celeste che funge da lente gravitazionale sono posti esattamente sulla stessa linea di vista rispetto all'osservatore, in conseguenza della simmetria circolare della configurazione ottica si osservano non delle immagini multiple della sorgente, disposte a formare una croce, ma addirittura un anello luminoso centrato sulla posizione in cielo della lente gravitazionale: è quello che si chiama un anello di Einstein. Anche in questo caso gli astronomi hanno osservato qualcosa già immaginato da Dante: nel Cielo del Sole egli afferma di aver visto un gruppo di anime disposte a corona intorno a lui e a Beatrice, che dopo aver compiuto tre lenti giri cantando, si ferma e tace, lasciando la parola a San Tommaso d'Aquino:



« Io vidi più folgór vivi e vincenti
far di noi centro e di sé far corona,
più dolci in voce che in vista lucenti:
così cinger la figlia di Latona
vedem talvolta, quando l'aere è pregno,
sì che ritenga il fil che fa la zona. »
(Par. X, 64-69)

Addirittura nel gennaio 2008 il telescopio spaziale Hubble ha rivelato l'esistenza di un doppio anello di Einstein, quasi a confermare la visione dantesca delle due corone di spiriti sapienti che si mettono a roteare intorno a Dante e a Virgilio, perfettamente sincrone tra di loro:



« A rotar cominciò la santa mola;
e nel suo giro tutta non si volse
prima ch'un'altra di cerchio la chiuse,
e moto a moto e canto a canto colse;
canto che tanto vince nostre muse,
nostre serene in quelle dolci tube,
quanto primo splendor quel ch'e' refuse.
... Di quelle sempiterne rose
volgiensi circa noi le due ghirlande,
e sì l'estrema a l'intima rispuose. »
(Par. XII, 3-9.19-21)

Poiché secondo Einstein la gravità contribuisce a dare vita alla geometria globale dell'universo, la sua massa totale è più che sufficiente per incurvare a tal punto un raggio di luce, da permettergli di tornare al punto di partenza. Per questo l'universo einsteiniano è finito ma illimitato. Che cosa significa? Proviamo a pensarci: se camminiamo sulla Terra sempre nella stessa direzione, dove arriviamo? Ritorniamo al punto di partenza, visto che la terra è una sfera, o meglio una "due-sfera", ossia una figura geometrica nello spazio euclideo. È la stessa cosa che ci capiterebbe se puntassimo con un'astronave sempre nella stessa direzione: ritorneremmo al punto di partenza dopo aver fatto il periplo completo dell'Universo. Questo perché l'universo sarebbe una ipersfera, o meglio una "tre sfera", una figura geometrica nello spazio quadridimensionale, esattamente come quello di Dante, così come emerge dal celebre ed incredibile verso *«parendo inchiuso da quel ch'elli 'nchiude»* (Par. XXX, 12).

9. La meccanica quantistica

Oltre alla teoria della relatività, l’altra rivoluzione scientifica del XX secolo è stata la meccanica quantistica. E cosa c’entra con la Divina Commedia? Ebbene, un paio di passi dell'Inferno ci possono condurre a una concezione che qualcosa di quantistico ce l'ha. Concetto basilare della meccanica quantistica è il fatto che la materia non può scambiare energia con la radiazione in modo continuo, ma solo sotto forma di pacchetti discreti, che ***Planck*** (1858-1947) chiamò quanti di energia. Attraverso questa ipotesi ***Bohr*** (1885-1962), e successivamente ***Sommerfeld*** (1968-1951) costruirono un modello quantomeccanico di atomo in cui gli elettroni potevano stare solo su determinate orbite caratterizzate da valori discreti di energia. L'impresa di elaborare una fisica del tutto nuova, detta appunto *Meccanica Quantistica*, fu portata avanti separatamente dall'austriaco ***Schrödinger*** (1887-1961), dal tedesco ***Werner Heisenberg*** (1901-1976) e dal britannico ***Dirac*** (1902-1984). In particolare, quella che comunemente oggi viene adottata è la meccanica ondulatoria di Schrödinger, basata sul concetto di funzione d'onda ψ. Già nel 1924 ***de Broglie*** (1892-1987) aveva proposto che ad ogni particella fosse associata un'onda, da lui definita *onda di materia*. In altre parole non solo la luce sarebbe costituita tanto da onde (elettromagnetiche) quanto da particelle (fotoni), a seconda dei fenomeni che essa produce, ma il dualismo onda/particella si estenderebbe a tutta la natura. Il comportamento ondulatorio è insomma caratteristico di tutta la realtà fisica, anche se le realtà macroscopiche non manifestano tale comportamento poiché hanno una lunghezza d'onda troppo piccola per poter esibire proprietà ondulatorie percettibili.

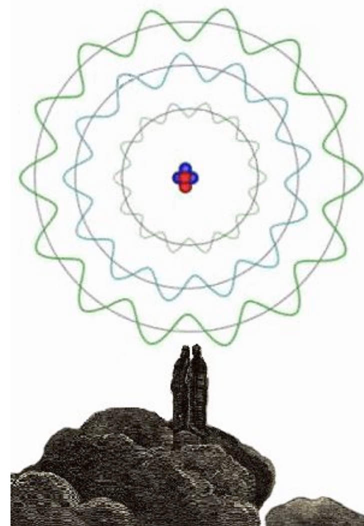
Anche il Paradiso di Dante sembra essere stato concepito come un meraviglioso intreccio di onde, in questo caso di melodie acustiche perfettamente intonate tra di loro:

« E come giga e arpa, in tempra tesa
di molte corde, fa dolce tintinno
a tal da cui la nota non è intesa,
così da' lumi che lì m'apparinno
s'accogliea per la croce una melode
che mi rapiva, sanza intender l'inno. »
(Par. XIV, 118-123)

Cioè: come diversi strumenti musicali (la "giga" era uno strumento medioevale a corde simile al violino), con la temperata armonia che risulta dalla diversa tensione delle loro corde, producono un suono gradevole anche a chi non è in grado di distinguerne le singole note, così dagli Spiriti del Cielo di Marte si diffondeva un canto tale da rapire Dante in estasi, anche senza riuscire a coglierne le singole parole. Quest'immagine delle parole indistinguibili nella dolce melodia rende perfettamente il concetto delle particelle indistinguibili dentro il treno delle loro onde di materia. E l'idea di de Broglie secondo cui gli elettroni possono muoversi entro certe shell senza perdere energia (si parla di "stati stazionari") solo se le loro onde di materia sono stazionarie, può essere colta nell'eterno canto delle gerarchie angeliche che Dante Alighieri vede ruotare attorno al Punto Divino, esattamente come gli elettroni del modello planetario ruotano attorno al nucleo:



« L'altro ternaro, che così germoglia (...)
perpetüalemente "Osanna" sberna
con tre melode, che suonano in tree
ordini di letizia onde s'interna »
(Par. XXVIII, 115-120)



In altre parole, la Triade di Intelligenze Angeliche formata da Dominazioni, Virtù e Potestà canta (letteralmente "sberna", cioè "cinguetta" come fanno gli uccelli quando l'inverno è finito) perpetuamente con tre melodie che risuonano nei tre ordini di spiriti di cui questo "ternaro" si compone nella sua triplice unità. Ad ogni coro angelico, un diverso canto, e se la melodia di ogni canto non fosse quella giusta, il coro che la intona non potrebbe ruotare intorno al Punto che è Dio, esattamente come nel modello di De Broglie.

Schrödinger elaborò allora una teoria in cui ad ogni particella era associata una funzione d'onda ψ, che descriveva in ogni punto e in ogni istante l'onda di materia ad essa associata. Tale funzione d'onda ψ obbedisce ad un'equazione, da allora chiamata *equazione di Schrödinger*, che rappresenta l'equivalente quantistico della classica conservazione dell'energia meccanica. Schrödinger credeva realmente che l'elettrone, giunto in vicinanza di una fenditura, si "sciogliesse" in un'onda che interferiva con la fenditura, dando vita a fenomeni di interferenza e diffrazione, ma questa interpretazione apparve ben presto inaccettabile, attribuendo alle particelle proprietà metafisiche. Bohr preferì "glissare" il problema, introducendo il cosiddetto *Principio di Complementarietà*, secondo il quale la materia ha una duplice realtà, ondulatoria e corpuscolare, ma quando si manifesta l'una, non si può manifestare l'altra. ***Born*** (1882-1970) suggerì invece che $|\psi|^2$, cioè il modulo quadrato della funzione d'onda, rappresentasse la "densità di probabilità" di trovare la particella nello spazio. In altre parole l'elettrone non si "scioglie" affatto, restando sempre una particella; ma, interagendo con una fenditura, il suo cammino successivo non è affatto deterministico, bensì probabilistico, e la probabilità di trovare la particella nello spazio coincide proprio con $|\psi|^2$. Einstein, che non era d'accordo con questa visione della realtà, reagì con il celebre aforisma *"Dio non gioca a dadi"* e sicuramente Dante sarebbe stato d'accordo dal momento che nella seconda parte del VII canto dell'Inferno ci presenta la Fortuna non come una dea volubile e cieca che distribuisce a casaccio i beni mondani tra gli uomini, bensì come un'Intelligenza Celeste, una "ministra" obbediente della volontà di Dio, le cui operazioni, tanto maledette da noi uomini, traducono in realtà un consiglio altrettanto imperscrutabile alle menti terrene, quanto giusto e infallibile nella sua infinita onniveggenza:

« Colui lo cui saver tutto trascende
(...) a li splendor mondani
ordinò general ministra e duce,
che permutasse a tempo li ben vani
di gente in gente e d'uno in altro sangue,
oltre la difension d'i senni umani (...)
Le sue permutazion non hanno triegue:
necessità la fa esser veloce;
sì spesso vien chi vicenda consegue. »
(Inf. VII, 73.77-81.88-90)

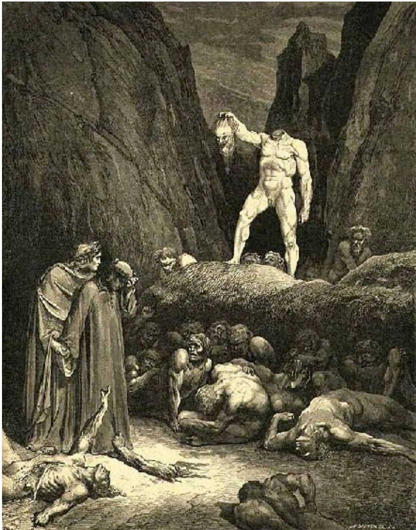
Tornando alla concezione probabilistica della meccanica quantistica, essa ha effettivamente delle conseguenze sconcertanti. Noi sappiamo che, se tiriamo una palla contro il muro, essa non verrà mai trasmessa attraverso di esso, ma rimbalzerà indietro. Se invece risolviamo l'equazione di Schrödinger per una particella in vicinanza di una barriera di potenziale, scopriamo con sorpresa che, in base alle leggi della meccanica quantistica, la sua onda di materia in parte è riflessa, in parte è trasmessa attraverso la barriera; in altre parole, l'elettrone ha una probabilità, per quanto piccola, di attraversare la barriera, anche se, in base alla fisica classica, non dovrebbe avere abbastanza energia per farcela. Ciò dimostra che le funzioni d'onda delle particelle quantistiche si comportano in maniera molto diversa da quelle che obbediscono alla fisica di Galilei e Newton. Ma non basta. Infatti il celebre *Principio di Indeterminazione* di Heisenberg afferma che non possiamo conoscere con uguale precisione la posizione e la velocità di una particella quantistica: tanto meglio conosciamo la posizione, tanto peggio conosciamo la velocità, e viceversa. A ciò si aggiunga il fatto che le soluzioni dell'equazione di Schrödinger sono funzioni d'onda, cioè descrivono un'oscillazione nello spazio, che per sua definizione non può essere localizzata in un punto preciso. Ne consegue che la particella quantistica è delocalizzata. In base all'interpretazione probabilistica della funzione d'onda ψ, dire che essa ha una probabilità del 70% di trovarsi al di qua della barriera e del 30% di trovarsi al di là di essa, significa di fatto che esistono due stati quantici separati, uno in cui la particella è al di qua e uno in cui è al di là. E siccome l'equazione di Schrödinger è lineare (cioè, se ψ_1 e ψ_2 sono due sue soluzioni possibili, anche $\psi_1+\psi_2$ è una sua possibile soluzione), lo stato attuale della particella è una combinazione lineare delle due situazioni: cioè, la particella si trova al 70% a sinistra della barriera e al 30% a destra di essa. In pratica, nella situazione della particella che va a sbattere contro la barriera di potenziale, essa si trova contemporaneamente al di qua e al di là della barriera, in parti proporzionali alle rispettive probabilità. Per stigmatizzare l'irrealtà di una simile situazione, venne elaborato il celebre paradosso detto del "Gatto di Schrödinger". Un gatto si trova dentro una scatola chiusa insieme ad una fiala di veleno gassoso, la cui apertura è comandata dal decadimento di un isotopo radioattivo. Quest'ultimo è un fenomeno quantistico, dunque ha una certa probabilità o meno di verificarsi, diciamo del 50%. Se l'isotopo decade, la fiala si apre e il gatto defunge; se non decade, la fiala resta chiusa e il gatto è ancora vivo. La suddetta interpretazione della meccanica quantistica ci porta a concludere che, siccome la funzione d'onda ψ dell'isotopo è composta da un 50% in cui l'isotopo è decaduto e da un 50% in cui non è decaduto, l'isotopo è contemporaneamente decaduto e non decaduto, e dunque il gatto è contemporaneamente al 50% vivo, e al 50% morto.

Dante sembra aver presente questa incredibile situazione quando descrive le strane metamorfosi subite da Agnolo Brunelleschi, celebre ladro fiorentino, nella Settima Bolgia. Quando viene afferrato da un rettile infernale, i due corpi si compenetrano fino a diventare *«membra che non fuor mai viste»* (Inf. XXV, 75), e così commentano ad alta voce i suoi due compagni:

« Li altri due 'l riguardavano, e ciascuno
gridava: "Omè, Agnel, come ti muti!
Vedi che già non se' né due né uno!" »
(Inf. XXV, 67-69)

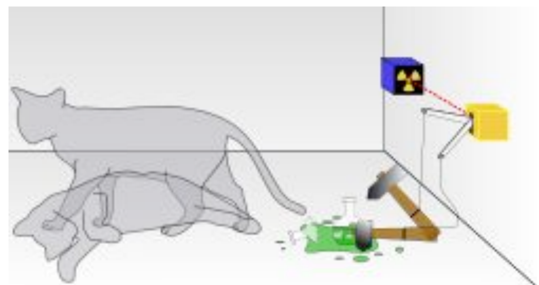
Ma l'idea della funzione d'onda microscopica nella quale coesistono due realtà macroscopiche tra di loro inconciliabili, è ancor meglio percepibile durante lo spaventoso incontro di Dante con il poeta provenzale ***Bertran de Born*** (1140-1215), che ha ispirato in

più punti la poesia dantesca. Nonostante questo, però, viene piazzato dal nostro autore all'Inferno, nell'Ottava Bolgia dei Seminatori di Discordia, avendo istigato Enrico III a ribellarsi al padre Enrico II d'Inghilterra. Per aver separato tra loro persone così vicine, egli è condannato a vagare per la bolgia con il proprio capo reciso in mano:



« Io vidi certo, e ancor par ch'io 'l veggia,
un busto sanza capo andar sì come
andavan li altri de la trista greggia; (...)
Di sé facea a sé stesso lucerna,
ed eran due in uno e uno in due;
com'esser può, quei sa che sì governa. »
(Inf. XXVIII, 118-120.124-126)

Egli insomma era un solo individuo diviso in due, ma anche due parti distinte di un sol tutto: un'evidente incongruenza logica che ha lo stesso rilievo del gatto di Schrödinger. La terrificante visione di Bertran de Born "diviso in due" ci aiuta anche a comprendere il concetto di "collasso della funzione d'onda". È evidente che, fino a quando noi non abbiamo appurato con certezza che l'isotopo si è disintegrato, il gatto Schrödinger è da ritenersi vivo. Pertanto, se non si apre il contenitore in cui esso è posto insieme al marchingegno letale, non si potrà determinare quale destino il gatto abbia avuto; solo aprendo il contenitore (e quindi ultimando l'esperimento) si troverà un gatto non può vivo al 50% e morto al 50%, ma uno vivo al 100%, oppure uno morto al 100 %. Appena io eseguo l'osservazione, la funzione d'onda, fin qui equamente distribuita tra lo stato quantico "gatto vivo" e quello "gatto morto", "collassa" in via definitiva su uno solo dei due stati. Allo stesso modo, finché Dante non guarda il poeta provenzale che fece litigare tra loro padre e figlio, può pensare che abbia ancora la testa al suo posto, oppure che il demonio carnefice gliela abbia già tagliata. Appena guarderà giù nella bolgia e vedrà in che stato si trova Bertran de Born, la "funzione d'onda" di quest'ultimo "collasserà" su uno dei due stati, e Dante avrà la sua risposta. Come si vede, in questa descrizione l'osservatore riveste un ruolo cruciale.



Il paradosso del gatto mette in evidenza l'insanabile contraddizione tra una realtà microscopica intrinsecamente indeterminata, ed una realtà macroscopica che invece in buona misura appare deterministica. Ma quale è l'interpretazione di questa contraddizione. L'interpretazione oggi comunemente accettata è quella della "decoerenza". In pratica, nel mondo microscopico ogni singola particella si comporta individualmente come delocalizzata. Invece, nel nostro universo macroscopico un aggregato di singole particelle non si comporta individualmente, come la singola particella. L'insieme delle particelle quantistiche, una volta aggregate in un insieme macroscopico, azzera reciprocamente le singole posizioni individuali, abolendo l'anomalia di ciascuna particella. Ne consegue che un corpo macroscopico ha come risultante quelle che noi chiamiamo "le consuete proprietà" della fisica classica, eliminando ogni paradosso quantistico: ad esempio, la lunghezza d'onda di de Broglie diventa troppo piccola per poter dare luogo ad effetti di interferenza, e il comportamento probabilistico svanisce. L'interazione reciproca

delle singole particelle in una realtà macroscopica che sgretola le singole anomalie prende il nome di decoerenza.

Incredibilmente, anche questo fenomeno è rintracciabile nelle terzine dantesche. Infatti, giunto nel Cielo di Giove, il nostro autore vede i beati disposti a formare l'effigie di una colossale aquila con le ali spalancate, così da lui descritta:

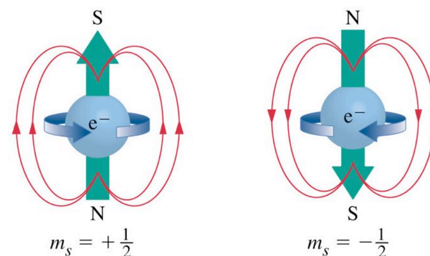
« Parea dinanzi a me con l'ali aperte
la bella image che nel dolce frui
liete facevan l'anime conserte;
parea ciascuna rubinetto in cui
raggio di sole ardesse sì acceso,
che ne' miei occhi rifrangesse lui.
E quel che mi convien ritrar testeso,
non portò voce mai, né scrisse incostro,
né fu per fantasia già mai compreso;
ch'io vidi e anche udi' parlar lo rostro,
e sonar ne la voce e "io" e "mio",
quand'era nel concetto e "noi" e "nostro". »
(Par. XIX, 1-12)



Dante vuole dire: si mostrava dinanzi a me l'immagine che le anime unite insieme formavano nel loro godimento; ogni anima appariva fulgida come un rubino su cui brilla un raggio di sole, rifrangendone la luce mille volte; e ciò che ora devo riferire non fu mai detto, né scritto, né immaginato, poiché io vidi il becco dell'aquila esprimersi come se essa fosse un unico essere, usando la prima persona singolare al posto della prima plurale, come avrebbe dovuto fare una collettività. Insomma, il discorso era pronunciato da tutti gli spiriti che formavano l'aquila, ma essa sembrava parlare come un singolo individuo (chiara la metafora: la giustizia, chiunque sia che la amministri sulla Terra, è sempre uguale a se stessa in ogni epoca e in ogni paese). Quindi, l'individualità si è per così dire "sciolta" dentro la collettività, esattamente come le particelle quantistiche, quando sono unite fra di loro a generare una realtà macroscopica, subiscono decoerenza, ovverossia perdono ogni loro singola caratteristica, sì che l'oggetto segue le leggi della fisica classica, e non di quella quantistica!

Prima di chiudere questo paragrafo, non si può fare a meno di accennare all'opera di Dirac. Questi fece osservare come l'elettrone dentro l'atomo si muova ad una velocità tanto elevata da essere vicina a quella della luce, e quindi il suo moto dovrebbe manifestare proprietà relativistiche. Egli perciò si impegnò nel primo tentativo di conciliare tra di loro meccanica quantistica e relatività ristretta, formulando nel 1928 una complessa equazione che da lui prese il nome di *Equazione di Dirac,* che presenta delle soluzioni a dir poco sorprendenti. Tanto per cominciare, l'equazione di Schrödinger applicata all'atomo d'idrogeno fornisce tre tipi di quantizzazione: quella dell'energia, tramite il numero quantico principale n, che nel modello quantomeccanico di Bohr-Sommerfeld equivaleva a distinguere le shell elettroniche; quella del momento angolare, tramite il numero quantico secondario l, che nel modello quantomeccanico equivaleva a quantizzare l'eccentricità delle orbite elettroniche; e quella del momento magnetico, tramite il numero quantico magnetico m, che nel modello di quantomeccanico equivaleva a distinguere l'orientazione spaziale delle orbite. Le misurazioni tuttavia dimostrarono che il momento angolare dell'elettrone era leggermente diverso da quello predetto da Bohr e Sommerfeld: oltre al momento angolare orbitale, ve ne era anche uno intrinseco. Nel 1927 il fisico austriaco ***Pauli*** (1900-1958) interpretò questo momento angolare intrinseco come

dovuto ad una rotazione dell'elettrone su se stesso, e gli diede il nome di momento di *spin*, dall'inglese "spin", "trottola", giacché l'elettrone pareva ruotare su se stesso proprio come una trottola. La rotazione era possibile solo in due modi: in senso orario o in senso antiorario lungo lo stesso asse. Pauli battezzò tali modalità spin up e spin down. Le soluzioni dell'equazione di Dirac mostrarono che lo spin dell'elettrone compariva in maniera naturale, senza bisogno di ipotizzare alcuna rotazione su se stesso; il momento angolare intrinseco dell'elettrone è dunque un effetto relativistico, che compare perché l'elettrone si muove a velocità prossima a quella della luce.

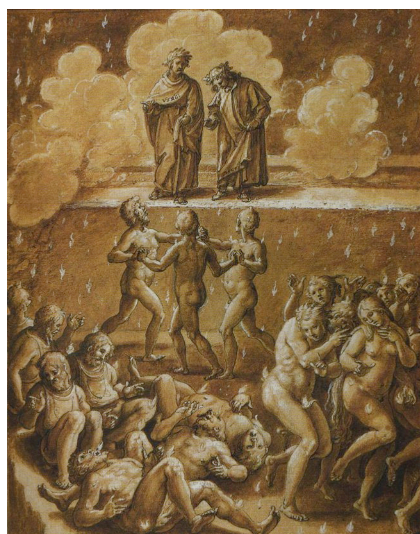


Vi sono diverse immagini, nell'ambito della Commedia dantesca, che rimandano al concetto di spin. Tanto per cominciare, il moto delle anime combattenti per la Fede nel Cielo di Marte:

« E al nome de l'alto Macabeo
vidi moversi un altro roteando,
e letizia era ferza del paleo »
(Par. XVIII, 40-42)

Il personaggio qui citato è Giuda Maccabeo, che liberò gli ebrei dalla tirannide del Re di Siria Antioco IV Epifane e riconsacrò il tempio di Gerusalemme. Affascinante è il moto rotatorio su se stesso di questo spirito, proprio come quello di un "paleo", cioè di una trottola (in inglese "spin"), fatta girare da una frusta, che in questo caso è rappresentato dalla sua letizia di anima beata.

Ma sicuramente l'immagine dantesca che più richiama l'argomento del nostro discorso è quella dei tre fiorentini Iacopo Rusticucci, Guido Guerra e Tegghiaio Aldobrandi, puniti nel Girone dei Sodomiti, i quali si soffermano a parlare con il loro compatriota; tuttavia, non potendo fermarsi perchè la loro pena glielo impedisce, si impegnano in un vorticoso girotondo:

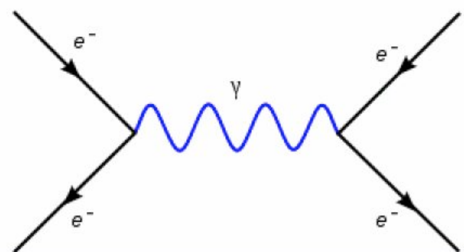


« Ricominciar, come noi restammo, ei
l'antico verso; e quando a noi fuor giunti,
fenno una rota di sé tutti e trei.
Qual sogliono i campion far nudi e unti,
avvisando lor presa e lor vantaggio,
prima che sien tra lor battuti e punti,
così rotando, ciascuno il visaggio
drizzava a me, sì che 'n contraro il collo
faceva ai piè continüo vïaggio »
(Inf. XVI, 19-27)

Qui Dante allude ai lottatori, unti di olio come li descrivono i poeti antichi, che si afferrano per le braccia studiando la presa migliore per afferrare l'avversario in posizione vantaggiosa ed abbatterlo. Ma ciò che qui ci interessa è il fatto che, roteando, ciascuno dei tre dannati fissava negli occhi il poeta. Si tratta dello stesso fenomeno per cui la Luna, dovendo volgere sempre la stessa faccia alla Terra, ruota su se stessa nello stesso tempo in cui ruota attorno alla Terra. Iacopo, Guido e Tegghiaio girano su se stessi esattamente come tre elettroni dotati dello stesso spin.

10. La teoria delle stringhe

La teoria della relatività generale e la meccanica quantistica, prese separatamente, costituiscono due teorie magnifiche, perfettamente consistenti in ogni loro parte e in grado di prevedere ed interpretare una quantità incredibile di fenomeni. Il problema è che esse sono fondamentalmente incompatibili fra di loro. Vediamo cosa significa questo asserto. Com'è noto, tutte le forze agenti in natura sono riconducibili a quattro di esse: la forza gravitazionale (che regola le interazioni tra le masse ed è responsabile della struttura dell'universo su larga scala), la forza elettromagnetica (che regola tutti i fenomeni elettrici e magnetici), la forza nucleare forte (che spiega come mai i nuclei atomici non si disgregano, pur essendo formati da protoni tutti positivi, che quindi dovrebbero respingersi tra di loro) la forza nucleare debole (che rende ragione del fenomeno della radioattività). La moderna teoria dei campi interpreta queste interazioni come uno scambio di particelle, che fungono da mediatrici delle forze. Mi spiego. Consideriamo due elettroni. Tra di loro nasce la forza elettromagnetica che si manifesta attraverso lo scambio di particelle virtuali (perché impossibili da rivelare), i fotoni. In questo modo i due elettroni modificano la propria traiettoria cambiando direzione come se si fossero respinti senza toccarsi. Ma anche le altre forze hanno una particella mediatrice che, scambiata, ne determina il comportamento delle particelle interagenti.

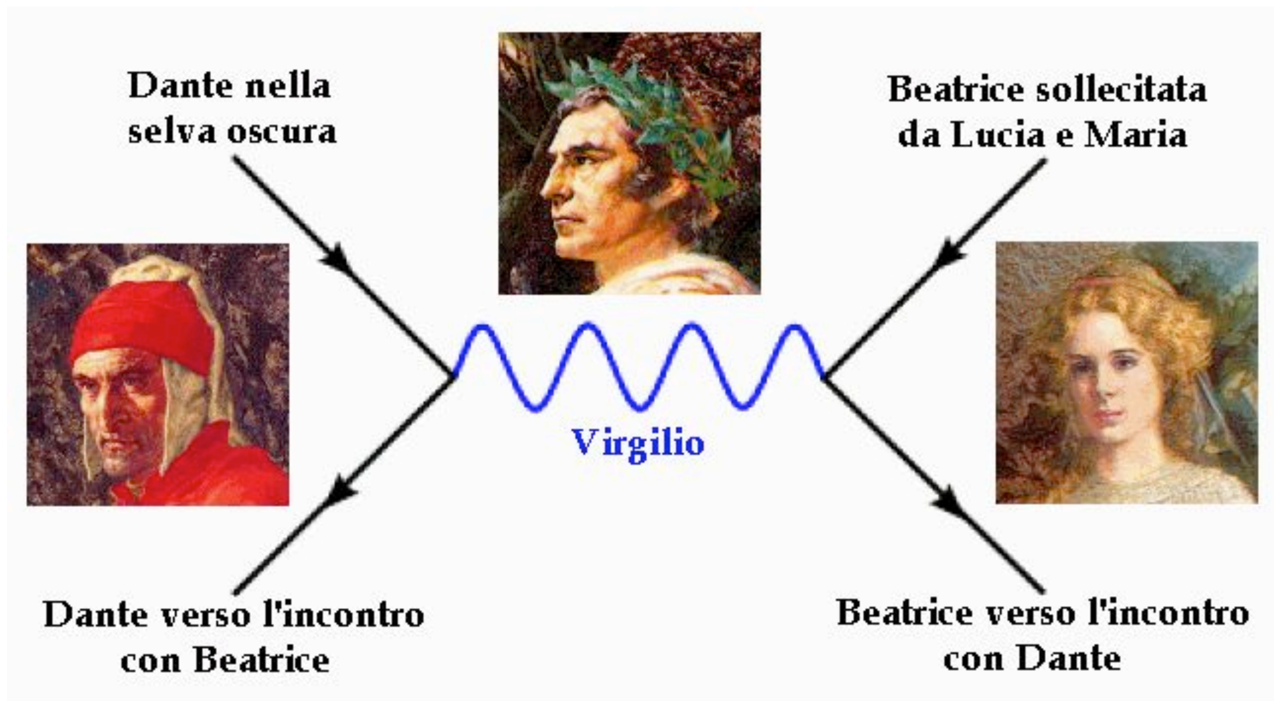


Vi è qualcosa del genere nel racconto dantesco? Incredibilmente, sì. Anzitutto, il concetto di "mediatore" era utilizzato dai teologi medievali per indicare gli angeli, mediatori fra l'umano e il divino, com'è il caso dell'Arcangelo Gabriele che, secondo il racconto di Luca 1, 26-38, portò a Maria l'annuncio della Sua concezione verginale:

« L'angel che venne in terra col decreto
de la molt' anni lagrimata pace,
ch'aperse il ciel del suo lungo divieto,
dinanzi a noi pareva sì verace
quivi intagliato in un atto soave,
che non sembiava imagine che tace »
(Purg. X, 34-39)

Ma soprattutto il diagramma di Feynman sopra realizzato potrebbe essere disegnato tale e quale per i tre principali protagonisti della Commedia: Dante, Virgilio e Beatrice. Infatti, nel secondo canto dell'Inferno il poeta è attanagliato dai dubbi, e si chiede se è degno di ripetere le imprese di Enea e di San Paolo, gli unici prima di lui a scendere agli Inferi, visto che il primo aveva ricevuto la missione di fondare l'Impero Romano, e il secondo quello di fondare la chiesa cattolica. *«Io non Enëa, io non Paulo sono»* (Inf. II, 32), conclude Dante. Allora Virgilio racconta al suo discepolo che, mentre si trovava al Limbo, gli è apparsa l'anima santa della sua amata Beatrice, che era stata a sua volta sollecitata da Maria Vergine e da Santa Lucia a muoversi in aiuto di Dante perchè rischiava di affondare nel gorgo del peccato, rappresentato allegoricamente dalla selva oscura, e di non poter così raggiungere con le sue sole forze la salvezza. Per ascendere fino a Dio e convertirsi ad una vita pia e illuminata dal vangelo, Dante ha bisogno della teologia e della scienza di Dio, impersonate da Beatrice; ma non può accedervi, se non attraverso la ragione umana, incarnata da Virgilio. Per questo Beatrice non può intervenire

direttamente, guidando Dante sin dal principio del suo viaggio, che consisterà nel riconoscere l'abbruttimento del peccato (il viaggio attraverso l'Inferno) e nel sottoporsi alla purificazione del pentimento (l'ascesa alla montagna del Purgatorio): a queste prime due fasi basterà il soccorso della ragione rappresentata al sommo grado da Virgilio. Questi farà da tramite affinché Dante cambi strada e possa giungere alla felicità terrena (l'Eden) e quindi a quella celeste (il Paradiso), dove interverrà la rivelazione (Beatrice). In pratica, Virgilio sarà il "fotone virtuale" attraverso cui Dante e Beatrice cambieranno entrambi strada fino ad incontrarsi; e dunque anche di questo itinerario potremo costruire un "diagramma di Feynman":



Ritorniamo alle nostre forze, e domandiamoci se in realtà rappresentano quattro aspetti diversi di un'unica forza, questa sì veramente fondamentale. Ebbene esiste una teoria, la GUT (teoria di grande unificazione) che prevede l'unificazione delle tre forze non gravitazionali, e si ritiene che immediatamente dopo il big bang, la grande "esplosione" che ha dato origine al nostro universo, queste tre forze erano effettivamente unificate in un'unica interazione. E la quarta forza, quella gravitazionale, come possiamo unificarla con le altre? Fino ad oggi, purtroppo, non è stata ancora elaborata una teoria soddisfacente, una teoria quantistica della gravità, che riesca a conciliare la teoria della relatività, riguardante la forza gravitazionale, con la meccanica quantistica, che descrive le altre tre forze, con lo scopo di ottenere una struttura unica per tutte e quattro le forze fondamentali, la cosiddetta superforza, e quindi di realizzare una teoria del tutto.

Comunque, una delle teorie più accreditate per realizzare la compatibilità tra la relatività e la meccanica quantistica, la grande unificazione, è la *teoria delle stringhe*. Questa teoria abbandona l'ipotesi che gli oggetti fondamentali sui quali costruire la teoria abbiano una struttura puntiforme, in favore di una struttura cordiforme, cioè unidimensionale, ossia descrive le particelle elementari come stati eccitati (vibrazioni) di sottilissime corde quantistiche, chiamate appunto *stringhe*. In sostanza, è una teoria che ipotizza che la materia, l'energia e in alcuni casi lo spazio e il tempo siano in realtà la manifestazione di entità fisiche sottostanti, appunto le stringhe. Esiste nella Divina Commedia qualcosa che richiami tale teoria? La risposta è sì, e la si comprende considerando il ruolo che gioca

nella terza cantica il concetto di armonia delle sfere. Quest'idea risale addirittura a Pitagora, secondo il quale le dimensioni e le velocità delle orbite dei pianeti del sistema solare (inclusi Sole e Luna) starebbero tra di loro in rapporti armonici, simili a quelli tra le frequenze delle note musicali. Naturalmente questa filosofia non poteva certo sfuggire a Dante, sempre interessato a scoprire in ogni dove l'impronta del creatore nella sua creazione. Ecco come egli descrive il momento in cui varca la sfera del fuoco in compagnia di Beatrice per salire al Primo Cielo, quello della Luna:



« Quando la rota, che tu sempiterni
Desiderato, a sé mi fece atteso,
Con l'armonia che temperi e discerni,
Parvemi tanto, allor, del cielo acceso
De la fiamma del sol, che pioggia o fiume
Lago non fece mai tanto disteso.
La novità del suono e 'l grande lume
di lor cagion m'accesero un disio
mai non sentito di cotanto acume. »
(Par. I, 76-84)

Cioè: quando il moto rotatorio delle sfere celesti, che tu fai durare in eterno infondendo in esse il perpetuo desiderio di ricongiungersi con te, che sei il loro principio, ebbe richiamato su di sé la mia attenzione con quella musica che tu accordi e moduli, una parte tanto grande del cielo mi parve essere accesa dalla fiamma del Sole, che mai si formò un lago così ampio per l'eccesso della pioggia o lo straripare di un fiume. Il suono mai udito prima e la luce abbagliante suscitarono in me il desiderio di conoscerne la causa, mai avvertito così acutamente in nessun altro caso. L'*armonia che temperi e discerni* è espressione tecnica della teoria musicale: "temperare" indica infatti l'atto dell'accordatura di uno strumento a corde, mentre nel termine "discerni" si può ravvisare un preciso riferimento ai numeri interi i cui rapporti danno vita agli accordi musicali.

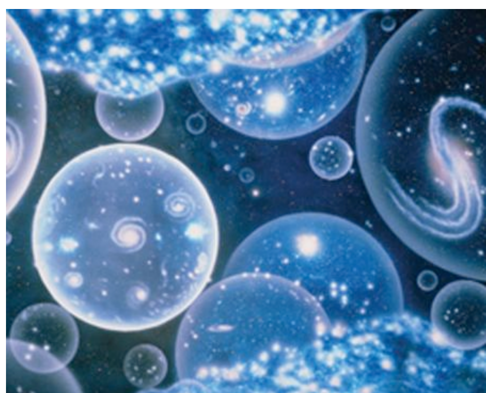
Anche se la teoria pitagorica dell'armonia delle sfere era stata ripudiata come assurda da Aristotele e quindi da Alberto Magno e da Tommaso d'Aquino, Dante la accoglie nel suo poema perchè gli offriva la possibilità di raffigurare aspetti sensibili come la luce e il suono. Appare evidente, a questo punto, il raffronto tra la teoria delle corde (stringhe), secondo la quale ogni particella del nostro universo consegue dall'armonico vibrare di quei fuscelli infinitesimi, e l'antica credenza misterica nell'armonia delle sfere: allo spettro energetico della stringa corrisponde la melodia del pentagramma tracciato nei cieli dalle gigantesche sfere di etere rotanti attorno al nostro pianeta.

Una versione evoluta della teoria delle stringhe è quella delle brane, secondo la quale a generare l'universo come lo conosciamo non sono delle stringhe ma delle brane, il cui nome deriva dalla generalizzazione del concetto di membrana: una zero-brana è un punto materiale, una uno-brana è una stringa, una due-brana è una membrana, e così via. Il big bang sarebbe derivato dalla collisione tra due brane che avrebbe sviluppato sufficiente energia per espandersi: una teoria davvero originale, che introduce una causa per il big bang. Si noti che Dante parla della causa della creazione nel ventinovesimo canto del Paradiso:

« Non per aver a sé di bene acquisto,
ch'esser non può, ma perché suo splendore
potesse, risplendendo, dir "Subsisto",
in sua etternità di tempo fore,

fuor d'ogne altro comprender, come i piacque,
s'aperse in nuovi amor l'etterno amore.
Né prima quasi torpente si giacque;
ché né prima né poscia procedette
lo discorrer di Dio sovra quest'acque. »
(Par. XXIX, 13-21)

Dante vuol dire quanto segue: non per ottenere per sé un accrescimento di bene, il che sarebbe impossibile, essendo egli bene sommo e infinito, ma affinché lo splendore riflesso della sua luce (e cioè la sostanza creata) prendesse coscienza del proprio essere, l'eterno amore, nella sua eternità fuori dal tempo e dallo spazio, con un atto spontaneo della sua volontà, si aprì come un fiore in una molteplicità di esseri pronti ad amare: gli angeli e gli uomini. Né si può affermare che Dio, prima della sua creazione, restò inoperoso, perché non vi fu né un prima né un poi, essendo la creazione avvenuta fuori dal tempo. Qui si ritrovano molti temi trattati dai maestri dell'Alighieri, a partire da Sant'Agostino. Si noti come quel magnifico verso: «*s'aperse in nuovi amor l'etterno amore*» ricorda incredibilmente la teoria dell'inflazione cosmica, di cui parleremo nell'ultimo capitolo.



Una delle conseguenze più affascinanti della teoria delle p-brane è rappresentata dall'esistenza di altri universi situati su brane vicine a quella dell'universo osservabile, in cui potrebbero anche vigere leggi fisiche diverse da quelle a cui noi siamo abituati, così come diverso potrebbe essere il numero delle loro dimensioni. L'insieme di tutti questi universi paralleli prende il nome di multiverso. E Dante c'entra anche con questo? Ebbene sì. Quando infatti nel Cielo di Venere Dante incontra l'anima beata di Carlo Martello, così da lui si sente dire:

« *Il mondo m'ebbe*
giù poco tempo; e se più fosse stato,
molto sarà di mal, che non sarebbe. »
(Par. VIII, 49-51)

Il giovane erede degli Angiò spiega in poche parole a Dante come sarebbero andate le cose se non fosse morto prematuramente, e questi eventi trovano logicamente posto in un universo parallelo, cioè in una brana adiacente alla nostra.

CAPITOLO 4

DANTE ASTRONOMO

1. Introduzione

Dante, nella descrizione e spiegazione dei fenomeni naturali, è sempre mosso da un'incredibile audacia immaginativa, piuttosto che dalla fredda necessità di dimostrare ciò che vede e descrive, come vorrebbe una cattiva interpretazione della scienza moderna. La sua attenzione per la natura, la sua capacità di associare immagini a concetti e visioni a fenomeni naturali, il suo sguardo attratto dalla bellezza sono continuamente spalancati su una realtà dove ogni creatura ci parla del creatore, e rivela all'uomo lo sguardo pieno di amore che lo accompagna da dentro la realtà fisica. E questo vale a maggior ragione per il più grande spettacolo che all'uomo si presenta quando la notte volge verso l'alto gli occhi, ed abbraccia con lo sguardo tutto il cielo stellato. Ecco cosa scrive il nostro sommo poeta nel *Convivio*: *«E [l'astronomia] più che alcune delle sopradette [(scienze] è nobile e alta per nobile subietto, che è de lo movimento del cielo, e alta e nobile per la sua certezza, la quale è senza difetto, sì come quella che da perfettissimo e regolarissimo principio viene. E se difetto in lei si crede per alcuno, non è da la sua parte, ma, sì come dice Tolomeo, è per la negligenza nostra, e a quella si dee imputare.»* (Convivio, II, 13). La Divina Commedia, quindi, pullula letteralmente di riferimenti astronomici, e la stessa parola "stelle" è talmente cara a Dante, che con essa vuole chiudere tutte e tre le sue cantiche. Il fatto che l'astronomia fosse una delle quattro scienze del quadrivio rendeva infatti necessaria per chiunque volesse definirsi "uomo colto" un'approfondita conoscenza dei fenomeni celesti.

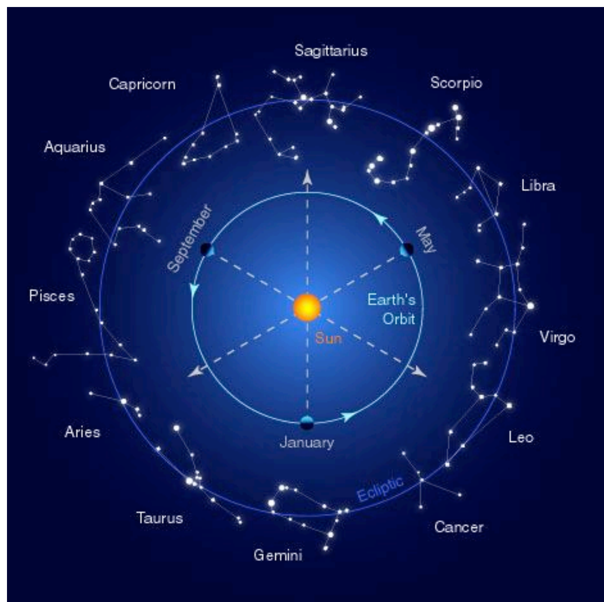
2. L'astronomia

L'Astronomia (dal greco "leggi delle stelle") è la scienza che studia le leggi dei movimenti dei corpi celesti, delle loro dimensioni e delle loro distanze. Nessuno ha idea di quando gli esseri umani cominciarono ad osservare il cielo, ma sicuramente l'astronomia è la più antica fra tutte le scienze naturali. Una delle più antiche testimonianze dell'osservazione consapevole dei fenomeni celesti è rappresentato dal cosiddetto "Osso di Lebombo", rinvenuto in Sudafrica. Si tratta di una fibula di babbuino risalente al 35.000 a.C., che porta incise 29 tacche. Gli archeologi pensano che esso potrebbe essere stato usato come un calendario lunare, necessario alle donne per tenere il conto dei cicli mestruali.

Se l'astronomia è la scienza dell'osservazione delle stelle, molto interessante per i nostri scopi è partire dalla seguente terzina:

« Vedi come da indi si dirama
l'oblico cerchio che i pianeti porta,
per sodisfare al mondo che li chiama. »
(Par. X, 13-15)

Quello a cui Dante qui si riferisce è lo Zodiaco (dal greco "vivente" perché composto da immagini di uomini e di animali), cioè la zona di cielo stellato attraversata dal Sole nel suo moto annuo apparente (eclittica) lungo la volta celeste. In pratica, esso è formato dalle costellazioni attraversate dall'eclittica, e quindi comprende anche i percorsi apparenti della Luna, dei pianeti e della maggior parte degli altri corpi del sistema solare, che sono visibili solo in questa regione di cielo ("che i pianeti porta"). Si parla di "oblico cerchio", cioè di cerchio obliquo, perchè lo zodiaco è inclinato rispetto all'equatore terrestre di 23° 26' 21'', cioè esattamente quanto è inclinato l'asse terrestre sul piano dell'eclittica. Lo zodiaco è ampio circa 8°, a causa dell'inclinazione rispetto all'eclittica degli effettivi moti planetari, e taglia complessivamente 13 costellazioni nell'ordine: Ariete, Toro, Gemelli, Cancro, Leone, Vergine, Bilancia, Scorpione, Ofiuco, Sagittario, Capricorno, Acquario, Pesci.



Gli antichi però tolsero di mezzo l'Ofiuco, che è lambito dall'eclittica solo nella sua regione meridionale, così da far diventare 12 le costellazioni dello Zodiaco, e da far corrispondere a ciascuna di esse un mese dell'anno. In realtà la corrispondenza è fasulla, non solo perchè le costellazioni zodiacali sono in realtà tredici, ma anche perchè esse hanno estensioni molto diverse lungo la sfera celeste, e dunque il Sole non impiega affatto un mese per transitare in ciascuna di esse. Inoltre, a causa della precessione degli equinozi (è un movimento della Terra che fa cambiare in modo lento ma continuo l'orientamento del suo asse di rotazione rispetto alla sfera ideale delle stelle fisse) i segni zodiacali iniziano in momenti completamente diversi da quelli in cui il Sole entra negli omonimi asterismi. Per esempio, secondo l'astrologia il Sole entra nel segno dell'Ariete il 20 marzo, cioè il giorno dell'equinozio di primavera, ma in realtà entra nella costellazione un mese dopo.

Andiamo adesso ad esaminare le costellazioni citate da Dante nella sua Divina Commedia.



ARIETE - Quando Dante inizia il suo viaggio nella selva oscura, così indica l'ora:

« Temp'era dal principio del mattino,
e 'l sol montava 'n sù con quelle stelle

ch'eran con lui quando l'amor divino
mosse di prima quelle cose belle... »
(Inf. I, 37-40)

In altre parole, il Sole sorge nel segno dell'Ariete. Era opinione del tempo che, al momento della creazione del mondo, quando Dio mosse per la prima volta "quelle cose belle", cioè gli astri del cielo, il Sole occupasse proprio quella casa dello zodiaco. Facile comprendere il perchè: all'equinozio di primavera, cioè alla fine del lungo inverno, il Sole si leva in cielo proprio con questa costellazione (o almeno così fa secondo i canoni astrologici, come spiegato sopra). Anche all'inizio della sua ascesa al Paradiso, infatti, Dante tirerà in ballo questo asterismo, giudicato il migliore di tutti poiché con esso inizia il rinnovamento della natura:

« Surge ai mortali per diverse foci
la lucerna del mondo; ma da quella
che quattro cerchi giugne con tre croci,
con miglior corso e con migliore stella
esce congiunta, e la mondana cera
più a suo modo tempera e suggella. »
(Par. I, 37-42)

I "quattro cerchi" e le tre croci" meritano un discorso a parte, e ne parleremo nel prossimo paragrafo. In sostanza, tuttavia, il significato è questo: il Sole, la "lucerna del mondo", sorge da diversi punti ("foci") ad illuminare gli uomini, a seconda del trascorrere delle stagioni; ma quando sorge dal punto in cui quattro cerchi celesti si congiungono a formare tre croci, esce in corso più favorevole e congiunto a costellazione più benigna. Questo benigno asterismo è proprio l'Ariete. E, congiunta con l'Ariete, plasma "tempera" e imprime la sua impronta ("suggella") la materia del mondo come cera "più a suo modo", attuando la propria virtù fecondatrice in tutta la pienezza della sua efficacia.

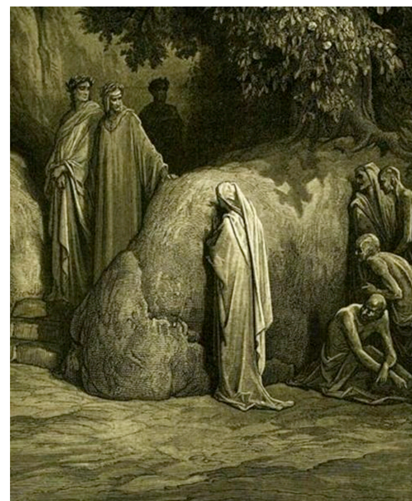
Ora, se è vero che all'inizio della primavera l'Ariete sorge e tramonta con il Sole, e quindi è diurna e invisibile, al contrario diventa visibile di notte, e quindi "notturno", durante l'autunno, quando il Sole occupa il segno diametralmente opposto, cioè la Bilancia. Vedere perciò l'Ariete in cielo vuol dire trovarsi nel momento dell'anno più lontano dall'equinozio primaverile, ed è logico che esso sia associato al declino e all'avvizzire della natura. In questo senso Dante usa quest'immagine per indicare l'eternità della beatitudine del Paradiso:

« L'altro ternaro, che così germoglia
in questa primavera sempiterna
che notturno Ariete non dispoglia... »
(Par. XXVIII, 115-117)

Cioè: la seconda delle tre gerarchie delle intelligenze angeliche, quella formata da Dominazioni, Virtù e Potestà, germoglia nell'eterna primavera del Paradiso, la quale non conoscerà mai alcun autunno (annunciato dall'Ariete visibile di notte).

Astronomicamente parlando, l'Ariete è una costellazione poco brillante: le sue tre stelle più luminose, α, β e γ Arietis, che costituiscono la fronte e un corno dell'animale, sono rispettivamente di magnitudine 2, 2,65 e 3,09; le altre non superano la magnitudine 4,6 (La magnitudine esprime la luminosità della stella rispetto al punto di osservazione: la

Luna ha magnitudine circa -13 ed il Sole -27. Più il valore è basso, quindi anche negativo, più l'oggetto è luminoso).



TORO - Dopo essersi congedato da Forese Donati e dai golosi, Dante Alighieri indica in questo modo l'ora:

« Ora era onde 'l salir non volea storpio;
chè il Sole avëa il cerchio di merigge
lasciato al Tauro e la notte a lo Scorpio »
(Purg. XXV, 1-3)

Cioè: ero nel punto dove non volevo alcun impedimento nella salita, perchè il Sole aveva attraversato il meridiano ("il cerchio di merigge"), cioè il cerchio massimo della sfera celeste, dove il Sole si trova a mezzogiorno, lasciandolo al segno del Toro, mentre la notte, oltrepassando la Bilancia, lo aveva lasciato allo Scorpione. Poiché il cielo gira di un segno ogni due ore, con questo il poeta vuol dire che sono circa le due del pomeriggio nel Purgatorio, e le due di notte a Gerusalemme.

Abbiamo dunque a che fare con la costellazione del Toro, che fu creata in Mesopotamia nel IV millennio a.C., perchè in quell'epoca (precisamente dal 4380 al 2200 a.C.) il punto equinoziale cadeva in questo asterismo, e dunque fu introdotta per inaugurare l'anno zodiacale. Il Toro si trova in una delle zone più ricche e luminose del firmamento, ed è celebre soprattutto per due particolari gruppi di stelle: le Iadi, poste a forma di V sul suo muso, e le Pleiadi, un ammasso di stelle che brillano sul suo collo.

GEMELLI - Quando Dante ascende al Cielo delle Stelle Fisse, non si ritrova in un punto qualunque del firmamento, ma in una costellazione ben precisa: la sua, quella dei Gemelli, essendo egli nato tra il 22 maggio ed il 13 giugno 1265 (alcuni dicono il 29 maggio):

« Tu non avresti in tanto tratto e messo
nel foco il dito, in quant'io vidi 'l segno
che segue il Tauro e fui dentro da esso »
(Par. XXII, 109-111)

Altrettanto velocemente quando è entrato in essa, Dante la lascerà poi per salire al Primo Mobile:

« E la virtù che lo sguardo m'indulse,
del bel nido di Leda mi divelse
e nel ciel velocissimo m'impulse »
(Par. XXVII, 97-99)

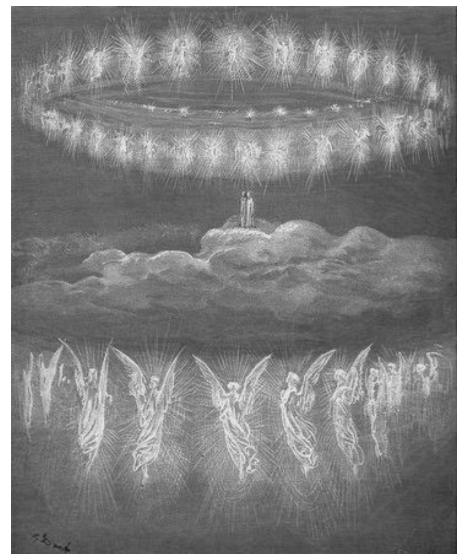
Si noti che qui la stessa costellazione è indicata con la perifrasi "il bel nido di Leda". Infatti i Greci e i Romani in questa costellazione vedevano i Dioscuri ("figli di Zeus"), cioè Castore e Polluce, i mitologici figli di Leda, che fu posseduta da Zeus tramutandosi in cigno. Le due stelle principali di questa costellazione sono, appunto, Castore (α Geminorum), di magnitudine 1,59, un incredibile sistema multiplo formato da ben sei astri, e Polluce (β Geminorum), di magnitudine 1,12. Dante cita esplicitamente queste due stelle durante la sua ascesa lungo il crinale del Purgatorio:

« Se Castore e Polluce
fossero in compagnia di quello specchio
che sù e giù del suo lume conduce... »
(Purg. IV, 61-63)

L'oggetto del profondo cielo più brillante nei Gemelli è M35, un ammasso aperto di quinta magnitudine, distante 2800 anni luce dalla Terra. Da notare che i versi di Dante a proposito di questo asterismo ci consentono un'altra interessante considerazione. In una famosa terzina dice:

« L'aiuola che ci fa tanto feroci,
volgendom'io con li etterni Gemelli,
tutta m'apparve da' colli alle foci...»
(Par. XXII, 151-153)

Quell'aggettivo, "etterni", è infatti quanto mai fuori luogo. L'Alighieri considerava il Cielo delle Stelle Fisse assolutamente immutabile, ma noi sappiamo che non è così, a causa del moto proprio delle stelle. In altre parole, gli astri si muovono lentamente sulla volta celeste, a causa della rotazione della Via Lattea, e del fatto che ogni stella ha una velocità diversa da quella di tutte le altre. Comunque si tratta di un effetto globalmente piccolo, ed impossibile da rilevare ai tempi di Dante. La stella con il massimo moto proprio è la Stella di Barnard, una nana rossa che con una distanza di 5,96 anni luce è la seconda stella più vicina alla Terra dopo Alpha Centauri, e si muove di appena 10,3 secondi d'arco all'anno. In altri termini, questa stella impiega 180 anni per spostarsi in cielo di una distanza pari al diametro del disco lunare. Anche due stelle apparentemente vicinissime come Castore e Polluce finiranno dunque per allontanarsi fatalmente l'una dall'altra, e quindi, come tutte le strutture del nostro universo, anche la costellazione dei Gemelli purtroppo non sarà eterna, ma conoscerà una fine.



CANCRO - Il Cancro ha l'onore di essere citato in quella che è probabilmente una delle più fantastiche ed immaginose citazioni dantesche:

« Poscia tra esse un lume si schiarì
sì che, se 'l Cancro avesse un tal cristallo,
l'inverno avrebbe un mese d'un sol dì »
(Par. XXV, 100-102)

Cioè: tra le corone danzanti dei Beati nel cielo delle stelle fisse un lume si fece tanto fulgido che, se la costellazione del Cancro disponesse si un tale astro ("cristallo), l'inverno avrebbe un giorno della durata di un mese: si trattava dell'apostolo Giovanni, che esaminerà Dante sulla carità. La situazione astronomica cui qui si accenna è del tutto ipotetica: la costellazione del Cancro occupa nello Zodiaco una posizione diametralmente opposta a quella del Capricorno, cosicché quando una costellazione sorge, l'altra tramonta, e viceversa. Il Sole transita tradizionalmente nel Capricorno dal 21 dicembre al 21 gennaio, ed in questo periodo il Cancro è ben visibile nel cielo notturno. Ora, se in quest'ultima costellazione ci fosse una stella così brillante come quella che ora Dante vede, per un mese al calar del sole esso sorgerebbe, e

tramonterebbe al sorgere del sole, illuminando tutta la notte di uno splendore simile a quello solare, situazione in base alla quale per quel mese si avrebbe luce continua.

Il Cancro occupa solo 10° della fascia zodiacale, e non è formato da stelle particolarmente brillanti, ma nell'astronomia antica godette di grandissima considerazione, poiché in essa cadeva il solstizio d'estate, quando il Sole raggiunge il suo punto più alto nel cielo.

LEONE - Il Leone, che comprende ben 60° di longitudine, è una delle maggiori costellazioni del firmamento. Secondo alcuni questo asterismo fu associato alla figura del Re della Foresta dai Sumeri nel V-IV millennio a.C., quando in essa ricadeva il solstizio d'estate, quando il Sole furoreggia con i suoi raggi come la celebre belva, da cui la celebre metafora del "solleone". Ne c'è da stupirsene, visto che anche Dante ne parla in questi termini, all'arrivo nel Cielo di Saturno:

« Noi sem levati al settimo splendore,
che sotto 'l petto del Leone ardente
raggia mo misto giù del suo valore. »
(Par. XXI, 13-15)

VERGINE - La sua origine è antichissima, visto che fra il 6540 e il 4380 a.C. il solstizio d'estate coincideva con la sua levata eliaca, e quindi essa deve avere un chiaro significato agricolo, dato che quell'epoca coincise con la "rivoluzione neolitica", durante la quale nella mezzaluna fertile (medioriente) si cominciò a coltivare regolarmente il frumento e l'orzo. Nell'ordine delle costellazioni zodiacali la Vergine viene dopo il Leone, ma Dante non la cita mai direttamente. Lasciando da parte il personaggio (Proserpina) della mitologia greca e romana rappresentato da questa costellazione, in un poema cristiano viene naturale identificare tale costellazione con la Vergine Maria, che così viene venerata dal suo fedele San Bernardo:



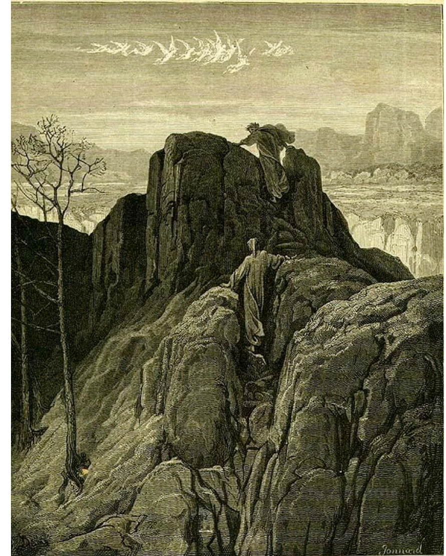
« Vergine Madre, figlia del tuo figlio,
umile e alta più che creatura,
termine fisso d'etterno consiglio,
tu se' colei che l'umana natura
nobilitasti sì, che 'l suo fattore
non disdegnò di farsi sua fattura. »
(Par. XXXIII, 1-6)

E infatti, prima di disporsi alla visione di Dio Uno e Trino, Dante viene invitato da San Bernardo a fissare il volto di Maria.

La Vergine è la seconda costellazione del cielo per ampiezza (occupa ben 1294° quadrati), superata solo dall'Idra, che però è meno luminosa. Questa costellazione contiene uno dei più ricchi ammassi di galassie conosciuti, non a caso battezzato Ammasso della Vergine.

BILANCIA - Dante la usa per indicare l'ora in cui inizia l'ascesa alla Montagna del Purgatorio:

« Già era 'l sole a l'orizzonte giunto
lo cui meridian cerchio coverchia
Ierusalèm col suo più alto punto;



e la notte, che opposita a lui cerchia,
uscia di Gange fuor con le Bilance,
che le caggion di man quando soverchia »
(Purg. II, 4-6)

La complessa immagine astronomica va così interpretata, tenendo conto che Dante credeva che tutte le terre abitate fossero comprese in uno spazio di 180° di longitudine tra il Meridiano di Gade (Cadice) e quello del delta del Gange: nell'emisfero, il cui cerchio meridiano sovrasta Gerusalemme con il suo punto più alto, il Sole era giunto all'orizzonte dalla parte occidentale, cioè stava tramontando, mentre la notte spuntava dal Gange, cioè si affacciava all'orizzonte di Gerusalemme dall'opposta parte orientale (cioè in Spagna era mezzogiorno, a Gerusalemme il tramonto e in India la mezzanotte). Ora, all'equinozio di primavera, la notte si trova nella costellazione della Bilancia, diametralmente opposta a quella dell'Ariete, dove si trova il Sole; quindi, dopo l'equinozio d'autunno, la notte "soverchia", cioè supera la durata del dì, essa non è più nella costellazione della Bilancia, da cui l'immagine delle bilance che le cadono di mano.

Sempre nella medesima Cantica, Dante fa ricorso di nuovo a questo zodiacale per indicare l'ora in cui sta per accedere finalmente al Paradiso Terrestre:

« Sì come quando i primi raggi vibra
là dove il suo Fattor lo sangue sparse,
cadendo Ibero sotto l'alta Libra,
e l'onde in Gange da nona rïarse,
sì stava il Sole; onde il giorno sen giva,
quando l'angel di Dio lieto ci apparse. »
(Purg. XXVII, 1-6)

Commentiamo: il Sole stava in quella posizione in cui si trova quando manda i suoi primi raggi sopra Gerusalemme, là dove Dio Figlio ("il suo Fattor") morì, mentre in Spagna il fiume Ebro ("Ibero") si trova sotto la costellazione della Bilancia, e in India le acque del Gange sono riscaldate ("rïarse") dall'ora nona, qui da intendersi come il mezzodì; all'orizzonte del Purgatorio, dunque, il Sole sta tramontando ("sen giva"). Insomma, nel Purgatorio è sera; agli antipodi di esso, cioè a Gerusalemme, è l'alba; e nei due punti estremi della terra abitata, in Spagna e in India, è rispettivamente mezzanotte e mezzogiorno. La Bilancia è la costellazione zodiacale opposta all'Ariete, e in quella stagione appare sul meridiano della Spagna a mezzanotte. Del medesimo asterismo Dante si serve anche nel Paradiso:

« Quando ambedue li figli di Latona,
coperti del Montone e de la Libra,
fanno de l'orizzonte insieme zona... »
(Par. XXIX, 1-3)

Allorché il Sole e la Luna ("i figli di Latona"), l'uno nel segno dell'Ariete, l'altra in quello della Bilancia, vengono a trovarsi contemporaneamente sulla linea dell'orizzonte in due punti opposti del cielo, eccetera.

La Bilancia è l'unica, fra le costellazioni dello Zodiaco, ad essere rappresentata da un essere inanimato. L'idea della Bilancia celeste risale probabilmente ai Sumeri, mentre altri hanno invece supposto un'origine egizia di questo segno, in considerazione della credenza secondo cui le anime erano pesate dopo la morte e, se risultavano più pesanti di una piuma per colpa dei loro peccati, erano perdute per sempre. La Bilancia contiene il sistema planetario extrasolare di Gliese 581, una nana rossa posta ad appena 20,3 anni luce da noi, che ha ben sei pianeti conosciuti, fra cui Gliese 581 c, una "Super Terra", cioè un pianeta roccioso significativamente più grande del nostro, scoperto nell'aprile 2007; è però improbabile che esso possieda un'atmosfera, essendo troppo vicino alla sua stella madre. Gli altri pianeti del sistema sono giganti gassosi, uno dei quali, Gliese 581 g, si trova nella fascia di abitabilità, e potrebbe avere lune in grado di ospitare la vita.

SCORPIONE - Dante la nomina nella stessa citazione a cui abbiamo già fatto riferimento parlando del Toro:

« Ora era onde 'l salir non volea storpio;
chè il Sole avëa il cerchio di merigge
lasciato al Tauro e la notte a lo Scorpio »
(Purg. XXV, 1-3)

Questo asterismo assai splendente, posto in parte sulla Via Lattea, è uno dei più somiglianti alla sua controparte mitologica, grazie soprattutto all'arco di stelle che ne costituisce la coda appuntita. La stella più luminosa della costellazione è α Scorpii, meglio nota come "Antares", cioè "anti-Ares", "avversario di Marte", perchè i due astri splendono ambedue di un colore rossastro.

SAGITTARIO - Ofiuco e Sagittario non sono espressamente nominati da Dante, anche se questi ci mostra i Centauri nel XII Canto dell'Inferno, nel quale fungono da custodi dei Violenti contro il prossimo, andando in cerca di dannati contro cui scagliare le loro infallibili frecce, in sintonia con la loro immagine mitologica, fatta di violente risse, ferocia belluina ed intelligenza a servizio della crudeltà:

« E tra 'l piè de la ripa ed essa, in traccia
corrien centauri, armati di saette,
come solien nel mondo andare a caccia. »
(Inf. XII, 55-57)

Tuttavia, per quanto nascosto, un accenno alla costellazione del Sagittario nella Divina Commedia forse c'è. Leggiamo insieme questo passo del Purgatorio, in cui Dante è preso dalla sonnolenza mentre si trova nella Cornice degli Accidiosi, né c'è da stupirsene, vista l'indicazione oraria che il nostro autore ci dà:

« La luna, quasi a mezza notte tarda,
facea le stelle a noi parer più rade,
fatta com'un secchion che tuttor arda;
e correa contro 'l ciel per quelle strade
che 'l sole infiamma allor che quel da Roma
tra Sardi e ' Corsi il vede quando cade. »
(Purg. XVIII, 76-81)

Ecco la parafrasi dei versi: "La Luna, levatasi tardi, quasi a mezzanotte, ci faceva apparire le stelle più rade (oscurando cioè le più piccole), e somigliava a un paiolo (di rame) ancora ardente: e avanzava (in direzione) contraria (al moto apparente) dal cielo, per quelle strade che il sole infiamma, quando quelli di Roma la vedono al tramonto, (posta) tra la Sardegna e la Corsica." I versi, vogliono dire che la Luna si trova, in quel momento, nella costellazione del Sagittario, proprio dove viene a tramontare il Sole quando, verso la fine di novembre, dall'Italia centrale sembra toccare le Bocche di Bonifacio.

Il Sagittario occupa la parte inferiore dell'eclittica ed è poco appariscente, perché nell'emisfero boreale è sempre basso sull'orizzonte meridionale, e può essere osservato senza difficoltà solo nel periodo compreso fra giugno e settembre. Nell'emisfero australe è invece una figura caratteristica e dominante nei cieli invernali, e si presenta allo zenit nelle regioni temperate medie. La costellazione contiene al suo interno il centro galattico, e la scia della Via Lattea è qui particolarmente luminosa.

CAPRICORNO - Il Capricorno è citato all'inizio dell'ascesa all'Antipurgatorio:

« Da tutte parti saettava il giorno
lo sol, ch'avea con le saette conte
di mezzo 'l ciel cacciato Capricorno »
(Purg. II, 55-57)

Cioè: il Sole saettava ormai la luce del giorno in tutte le direzioni, essendo salito di alcuni gradi sopra l'orizzonte. La costellazione del Capricorno, che dista in cielo novanta gradi da quella dell'Ariete, al momento in cui il Sole era sorto si trovava sul meridiano, cioè circa allo zenit del Purgatorio; ora, il movimento del cielo l'ha portata oltre il meridiano, come se fosse inseguita e messa in fuga dalle frecce esperte ("conte") dell'astro diurno. Secondo il calendario astrologico, il Sole sorge al solstizio d'inverno nel segno del Capricorno, anche se in realtà la precessione degli equinozi ha intanto portato il solstizio nel Sagittario, e tra un secolo circa passerà nello Scorpione.

Altra citazione di questa costellazione la troviamo verso la fine del Paradiso:

« Sì come di vapor gelati fiocca
in giuso l'aere nostro, quando 'l corno
de la capra del ciel col sol si tocca »
(Par. XXVII, 67-69)

Cioè: come l'atmosfera terrestre ("l'aere nostro") fa cadere sotto forma di fiocchi di neve i vapori gelati dal freddo, quando il corno della Capra del Cielo, cioè del Capricorno, tocca il Sole, cioè quando il Sole è in congiunzione con la costellazione del Capricorno, e quindi in pieno inverno, dal 21 dicembre al 21 gennaio; così, eccetera. In questo caso la "capra del ciel" non serve per darci un'informazione oraria, bensì stagionale.

La figura del Capricorno è di origine mesopotamica: l'animale mezzo capra e mezzo pesce, era immagine dei dio Ea, divinità suprema della mitologia sumerica, considerato sapientissimo e creatore del mondo, che era in grado di vivere sia sopra che sotto le acque, come mostra l'ambivalenza capra-pesce. Il Capricorno non è una costellazione particolarmente luminosa.

ACQUARIO - Dell'Acquario, la penultima delle costellazioni zodiacali, Dante ne parla in una delle sue immaginose similitudini:

« In quella parte del giovanetto anno
che 'l sole i crin sotto l'Aquario tempra
e già le notti al mezzo dì sen vanno,
quando la brina in su la terra assempra
l'imagine di sua sorella bianca,
ma poco dura a la sua penna tempra... »
(Inf. XXIV, 1-21)

Di questi versi abbiamo già discusso a proposito dei passaggi di stato. Qui ci basti dire che la similitudine dantesca gira attorno al contadinello che, levatosi al mattino per condurre le sue bestie al pascolo, vede la campagna tutta bianca di brina e si dispera, scambiandola per neve, ma in breve tempo si consola, vedendo la presunta neve sciogliersi al calore del sole. In quale periodo dell'anno ciò può avvenire? Quando l'anno è "giovanetto", cioè quando è cominciato da poco, e il Sole "tempra" i suoi capelli ("crini"), cioè i suoi raggi, rendendoli via via più caldi man mano che ci si allontana dal solstizio d'inverno e ci si avvicina al momento in cui le notti dureranno quanto i dì. A quell'epoca il Sole si trovava nell'Acquario, quindi siamo tra il 21 gennaio e il 21 febbraio.

Nel segno dell'Acquario cadono perciò i cosiddetti "giorni della merla" (il 29, 30, 31 gennaio), tradizionalmente ritenuti i più freddi dell'anno, cui Dante accenna nel Purgatorio, mettendo in bocca a Sapia di Siena le seguenti parole:

« Tanto ch'io volsi in sù l'ardita faccia,
gridando a Dio: "Omai più non ti temo!",
come fé 'l merlo per poca bonaccia. »
(Purg. XIII, 121-123)

L'Acquario è una delle costellazioni più antiche del firmamento e probabilmente è di origine indiana. Nel 3000 a.C. circa, quando fiorirono le civiltà sul fiume Indo, il plenilunio solstiziale cadeva in questa costellazione, e i Veda narrano che Chandra, dio della Luna, una volta raggiunto il suo massimo splendore, era bevuto trionfalmente da Indra, il Sole, il quale aveva riconquistato il trono del solstizio vincendo l'annuale battaglia contro Vrtra, il demone della siccità. La parte meglio visibile dell'Acquario è formata da quattro stelle a forma di Y, nelle quali si può identificare l'anfora da cui fuoriesce l'acqua.

PESCI - La dodicesima costellazione dello Zodiaco è composta da due pesci che nuotano nel Mare Astrale, uno rivolto a nord, che quasi lambisce le spalle di Andromeda, e uno rivolto a ovest, sotto la criniera di Pegaso. Dante cita questo asterismo in almeno due passi rilevanti. Il primo è quello in cui Virgilio, dopo essersi fermato presso la tomba di papa Anastasio II per far riposare il suo discepolo ed illustrargli la distribuzione dei dannati nell'Inferno, lo invita a riprendere il cammino con queste parole:



« Ma seguimi oramai che 'l gir mi piace;
ché i Pesci guizzan su per l'orizzonta,
e 'l Carro tutto sovra 'l Coro giace,
e 'l balzo via là oltra si dismonta»
(Inf. XI, 112-115)

La costellazione dei Pesci si è dunque già alzata sull'orizzonte; precedendo immediatamente quella dell'Ariete, in cui allora si trovava il Sole, i Pesci astrali cominciavano ad apparire all'orizzonte tre ore prima dell'alba, mentre l'Orsa Maggiore (il Carro) è volta nella direzione del Coro, il vento di nordovest, e poco più in là il burrone è agevole da discendere. In questo caso i due Pesci hanno aiutato Dante a specificarci che mancano due o tre ore all'alba. Il medesimo asterismo riappare all'uscita del cammino sotterraneo che ha condotto i due poeti dall'Inferno alla spiaggia del Purgatorio:

« Lo bel pianeto che d'amar conforta
faceva tutto rider l'orïente,
velando i Pesci ch'erano in sua scorta »
(Purg. I, 19-21)

Venere appare qui congiunta proprio con i Pesci, le cui stelle essa vela con il suo splendore. Per lo stesso motivo indicato a proposito delle terzine precedenti, manca poco all'alba, e quindi la salita dal centro della Terra alla spiaggia del Purgatorio ha richiesto un giorno e una notte di cammino. Secondo Dante, come vedremo nel paragrafo sulla planetologia, il raggio terrestre era inferiore ai 3000 Km, ma per percorrere tale distanza in così poco tempo i due poeti avrebbero dovuto procedere ad almeno 150 Km all'ora.

Forse anche l'origine di questo segno zodiacale è da ricercarsi in India e da connettersi a Matsya, il pesce al quale si attribuisce la salvezza di Manu, il Noè indiano, dalle acque del diluvio, e la consegna dei sacri Veda agli uomini. Oggi noi viviamo nell'era dei Pesci, cominciata verso il 60 a.C. e destinata a concludersi alla fine del XXII secolo, perchè è in essa che si trova il punto equinoziale.

LE DUE ORSE - Terminate le dieci costellazioni dello Zodiaco nominate da Dante, non possiamo certo fare a meno di parlare anche dell'Orsa Maggiore, sicuramente la più popolare costellazione del cielo, oltre ad essere la terza in ordine di grandezza. E Dante conosceva bene il fatto che si tratta di una costellazione circumpolare; di una costellazione, cioè, che nell'emisfero boreale non tramonta mai. Un'importante citazione dantesca di questo grande asterismo, è rintracciabile nell'ammonimento rivolto da Dante ai lettori prima di seguirlo nella sua ascesa al Paradiso:



« L'acqua ch'io prendo già mai non si corse;
Minerva spira, e conducemi Appollo,
e nove Muse mi dimostran l'Orse. »
(Par. II, 7-9)

Il sommo poeta vuole dirci che nessuno, prima di lui, osò innalzare a tal punto la sua poesia da descrivere i Cieli del Paradiso; la dea della sapienza gonfia con il suo fiato le vele della barca di Dante; Apollo, cioè la fantasia poetica, regge il timone; e le nove Muse indicano il cammino. Infatti tutti i naviganti dell'epoca impostavano le loro rotte sulla base dell'Orsa Maggiore e dell'Orsa Minore. Entrambe le Orse vengono poi nuovamente tirate in ballo quando il nostro autore vuole farci capire come avviene la danza dei Beati nel Cielo del Sole:

« ...Imagini quel carro a cu' il seno
basta del nostro cielo e notte e giorno,
sì ch'al volger del temo non vien meno;
imagini la bocca di quel corno
che si comincia in punta de lo stelo
a cui la prima rota va dintorno,
aver fatto di sé due segni in cielo »
(Par. XIII, 7-13)

Il lettore è qui invitato ad immaginare il Grande Carro, al cui moto è sufficiente lo spazio ("seno") del cielo a noi visibile, cosicché ruotando il timone (cioè girando) non viene mai meno alla nostra vista (qui si ritorna sulla circumpolarità dell'Orsa). Si deve quindi immaginare le due stelle dell'Orsa Minore, pensata con la forma di corno, la cui estremità più larga, cioè la "bocca", è costituita da esse, mentre la punta coincide all'estremità opposta con la Stella Polare, collocata pressappoco nel punto più alto dell'asse celeste ("stelo"), attorno a cui gira il Primo Mobile ("la prima rota"), e con esso gli altri cieli. Qui è condotta una precisa descrizione delle due Orse, che come si è detto sono tra le più antiche costellazioni mai individuate dall'uomo.

Quanto all'Orsa Minore, nonostante la sua debole luminosità, negli ultimi 3000 anni ha assunto una grande importanza perchè la sua stella α Ursae Minoris, di magnitudine 1,99 e posta sulla punta della coda, dista soli 50 primi d'arco dal Polo Nord. La precessione degli equinozi porterà la Stella Polare alla minima distanza dal Polo Nord Celeste (27' 31") nell'anno 2102, poi si allontanerà progressivamente da esso. Dante conosceva benissimo il fenomeno ora descritto della precessione degli equinozi, la lenta rotazione dell'asse terrestre che, a causa dell'attrazione solare, in 25.776 (anno platonico) anni descrive un doppio cono con vertice al centro della Terra, un lentissimo moto che ricorda quello di una trottola in rotazione. Nel Purgatorio leggiamo infatti:

« Che voce avrai tu più, se vecchia scindi
da te la carne, che se fossi morto
anzi che tu lasciassi il 'pappo' e 'l 'dindi',
pria che passin mill'anni? ch'è più corto
spazio a l'etterno, ch'un muover di ciglia
al cerchio che più tardi in cielo è torto.
(Purg. XI, 103-108)

Cioè: prima che siano trascorsi mille anni, che pure sono un batter d'occhi rispetto al lentissimo moto di precessione delle stelle fisse, quale fama avrai maggiore per essere morto anziano, di quella che avresti se fossi morto bambino, quando ancora usavi il linguaggio infantile? Ed anche nel Convivio Dante scriveva: *«Per lo movimento quasi insensibile che fa da occidente in oriente per uno grado in cento anni... »* (Convivio II, XIV, 11). Da qui si deduce che il nostro poeta attribuiva all'anno platonico una durata di 36.000 anni (100 anni per 360 gradi), contro i circa 26.000 effettivi, ma che tale moto, scoperto da Ipparco di Nicea, gli era ben noto.

BOOTE

Di questa costellazione, nota anche come il "figlio dell'Orsa", Dante ne parla a proposito dei popoli germanici che abitavano il settentrione d'Europa:

Se i barbari, venendo da tal plaga
che ciascun giorno d'Elice si cuopra,
rotante col suo figlio ond' ella è vaga
(Par. XXXI, 31-33)

Boote in greco significa "bifolco" o "carrettiere", e questo nome indica che in origine era identificato con il mitico conduttore del Grande Carro. Arturo (che significa appunto "guardiano dell'Orsa") è la stella più luminosa (magnitudine -0,06) di tutto l'emisfero boreale,

CORONA BOREALE

Nella complessa metafora da noi descritta sopra a proposito delle due Orse, Dante chiede al lettore di immaginare che tutte le ventiquattro stelle enumerate in precedenza (le quindici stelle più luminose del cielo, le sette dell'Orsa Maggiore e le ultime due sulla "bocca del corno" dell'Orsa Minore) formino due immaginarie costellazioni, ciascuna di dodici stelle, simili nella forma a quella in cui Dioniso tramutò la sua sposa Arianna, allorché essa morì:

« [imagini] aver fatto di sé due segni in cielo,
qual fece la figliuola di Minoi
allora che sentì di morte il gelo... »
(Par. XIII, 13-15)

Questo asterismo è uno dei pochi le cui stelle disegnano effettivamente la figura loro attribuita, e la corona è disegnata da sette stelle.

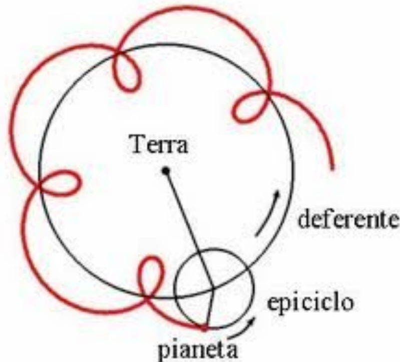
3. La planetologia

Come più volte affermato, furono i Greci a contribuire in modo significativo allo sviluppo dell'astronomia, soprattutto attraverso la costruzione di modelli di universo. ***Eudosso di Cnido*** (408-355 a.C.) fu il primo ad immaginare un universo fatto di sfere concentriche, al cui centro si trovava la Terra; ogni sfera alloggiava un pianeta ed era animata da un moto circolare uniforme. Eudosso insomma fu l'ideatore del sistema geocentrico. Quanto ad Aristotele, egli attribuì una realtà fisica alle sfere di Eudosso, ritenendole formate di etere, la famosa quintessenza, una sostanza perfetta. Imperitura, incorruttibile e non generabile. In tal modo egli veniva a fornire una spiegazione scientifica dei moti celesti, in quanto l'etere sarebbe per sua natura animata da un moto circolare uniforme. Appare evidente che, in questa visione cosmologica, anche il Sole è un pianeta esattamente come tutti gli altri, e infatti al principio della sua Commedia Dante osserva:

« ...guardai in alto, e vidi le sue spalle
vestite già de' raggi del pianeta
che mena dritto altrui per ogne calle »
(Inf. I, 16-18)

Dante nella Divina Commedia segue infatti il suo maestro Aristotele, e quindi logicamente pone la Terra immobile al centro dell'universo, come riferimento assoluto di tutti i moti.

In realtà, non si può giustificare il moto planetario semplicemente riducendolo ad un moto circolare uniforme, perchè l'osservazione diretta dimostra che i pianeti (dal greco "errabondi", in contrapposizione alle stelle fisse) non si muovono con velocità uniforme, e sono talora animati da moto retrogrado, cioè sembrano tornare indietro lungo la volta celeste. Per giustificare tutto questo, Aristotele elaborò un modello assai complesso, difficilmente sostenibile, perchè troppo involuto. L'astronomia antica raggiunse il suo apice con Tolomeo, che sposa il sistema geocentrico di Eudosso e Aristotele, e fornisce una precisa descrizione matematica dei moti planetari. Secondo lui la Luna, il Sole e i cinque pianeti allora conosciuti si muovono su orbite circolari chiamate epicicli, il cui centro si muove a sua volta su un'altra circonferenza centrata sulla Terra, che prende il nome di deferente. Per ottenere una migliore coincidenza tra le sue previsioni e il moto effettivo dei pianeti, suppose che il moto circolare delle precedenti non sia uniforme, ma abbia velocità angolare costante rispetto ad un punto detto equante, diverso dal centro dell'orbita. Con l'avvento del Cristianesimo, il modello geocentrico fu adottato dalla Chiesa come "vera" descrizione del mondo, soprattutto perché, coerentemente con il *Libro della Genesi* che mostra l'uomo come vertice della Creazione e tutto il resto dell'universo creato esclusivamente per preparare il suo avvento, ipotizza che l'uomo viva sul "riferimento assoluto", vale a dire su una sfera immobile al centro del cosmo.



Il sistema epicicloidale, comunque, si resse in piedi per quasi un millennio e mezzo, nonostante con il miglioramento della precisione osservativa emergessero sempre maggiori discrepanze tra le sue previsioni e l'effettivo moto planetario; ed infatti lo ritroviamo intatto anche nella Divina Commedia, ed in particolare nel Paradiso, in cui Dante si trova proprio ad attraversare di persona quel complicato sistema di sfere trasparenti:



« Solea creder lo mondo in suo periclo
che la bella Ciprigna il folle amore
raggiasse, volta nel terzo epiciclo »
(Par. VIII, 1- 3)

Quasi tutti i popoli dell'antichità, vuole dirci Dante, credevano che Venere ("la bella Ciprigna", dal nome dell'isola di Cipro dove nacque), muovendosi nel terzo epiciclo, cioè lungo l'epiciclo del Terzo Cielo (dopo quelli della Luna e di Mercurio), suscitasse nei cuori degli uomini "il folle amore", cioè l'amore sensuale. Poco più oltre fa riferimento allo stesso motivo cosmologico nel Cielo del Sole:

« Lo ministro maggior de la natura,
che del valor del ciel lo mondo imprenta
e col suo lume il tempo ne misura,
con quella parte che sù si rammenta

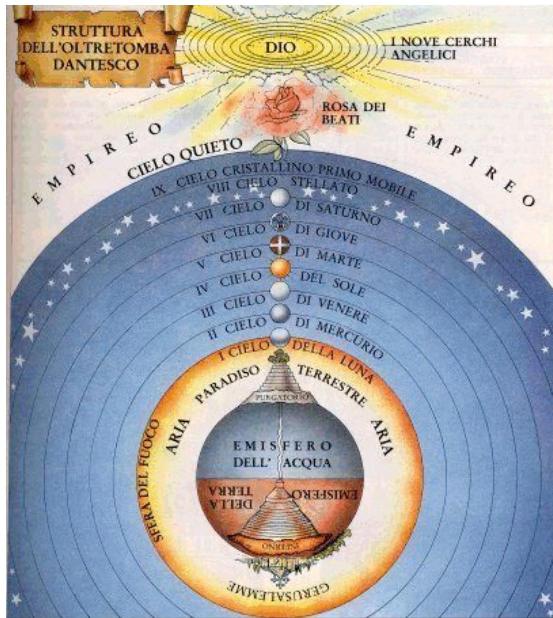
congiunto, si girava per le spire
in che più tosto ognora s'appresenta »
(Par. X, 28-33)

Il Sole è definito da Dante come il maggior rappresentante di Dio nell'universo materiale, per il fulgore invincibile che esso emana; congiunto con il punto equinoziale di primavera, e quindi con la costellazione dell'Ariete, descrive le sue instancabili spirali ("spire") che derivano dalla combinazione dei moti lungo il deferente e lungo l'epiciclo, e che lo portano a presentarsi sempre più presto ("più tosto ognora") all'orizzonte del nostro emisfero. Infatti in primavera le giornate si fanno via via più lunghe; e con questo particolare ci conferma in quale parte dell'anno avviene il suo "viaggio nello spazio".

Durante l'ascesa all'ottavo cielo delle stelle fisse, il nostro poeta guarda indietro, su invito di Beatrice, il percorso compiuto, intravedendo "le Sette Sfere" sulle quali orbitano i sette pianeti secondo lo schema aristotelico-tolemaico e, in lontananza, il globo terrestre:

« Col viso ritornai per tutte quante
le sette spere, e vidi questo globo
tal, ch'io sorrisi del suo vil sembiante »
(Par. XXII, 133-135)

Il numero dei cieli poi raggiunge il numero perfetto di dieci aggiungendo il cielo delle stelle fisse, il Primo Mobile ed infine l'Empireo, nel quale si irradia la fulgida luce divina. A mettere in moto questi cieli sono le intelligenze motrici (angeli, arcangeli, cherubini, ecc.). Come afferma lo stesso Dante:



« Questi ordini di sù tutti s'ammirano,
e di giù vincon sì, che verso Dio
tutti tirati sono e tutti tirano. »
(Par. XXVIII, 127-129)

In altre parole questi ordini celesti sopra di sé "si ammirano", cioè si meravigliano contemplando qualcosa maggiore di sé, cioè la divinità, mentre superano in virtù e potenza tutte le cose che esistono sotto di loro, esercitando il loro benefico influsso, sicché sono tutti trascinati verso Dio, e trascinano ogni cosa verso Dio. In figura è rappresentato lo schema della cosmologia dantesca secondo la visione tradizionale. Ma a Dante erano noti altri corpi celesti oltre ai cinque pianeti, il Sole e la Luna? A giudicare da questa similitudine, si direbbe di sì:

« Così Beatrice; e quelle anime liete
si fero spere sopra fissi poli,
fiammando, a volte, . »
(Par. XXIV, 10-12)



Vuole dire che le anime formarono tanti cerchi concentrici, rotanti intorno ad un asse fisso ("sopra fissi poli"), fiammeggiando ad intermittenza come comete. Viene in mente il celebre affresco dell'*Adorazione dei Magi* dipinto da Giotto nella Cappella degli Scrovegni a Padova, in cui nella stella che guidò i Re Magi a Betlemme il famoso pittore contemporaneo di Dante ha rappresentato la cometa di Halley, che aveva osservato al suo passaggio nel 1301. Ed è assai probabile che l'abbia osservata anche Dante.

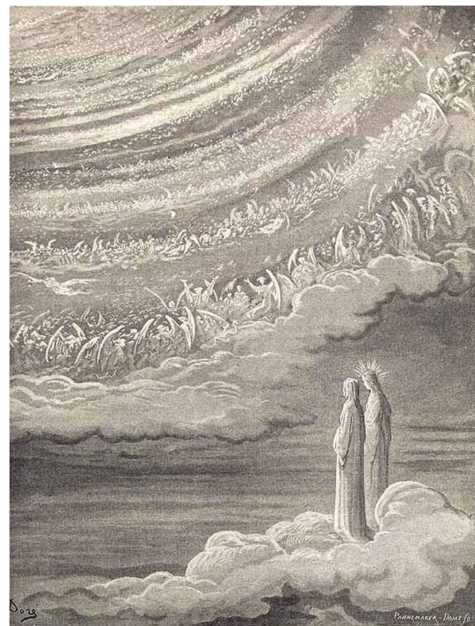
Un'altra citazione, ci dice invece che Dante conosceva anche il fenomeno delle meteore o stelle cadenti, che noi oggi interpretiamo come frammenti cometari:

« Quale per li seren tranquilli e puri
discorre ad ora ad or sùbito foco,
movendo li occhi che stavan sicuri,
e pare stella che tramuti loco,
se non che da la parte ond'e' s'accende
nulla sen perde, ed esso dura poco... »
(Par., XV, 13-18)

L'interpretazione moderna è la seguente: quando la Terra, nel suo moto orbitale intorno al Sole, attraversa l'orbita di una cometa che ha lasciato una scia di detriti ghiacciati, essi entrano in contatto con l'atmosfera ad una velocità di molte decine di chilometri al secondo, e per attrito bruciano, lasciando spettacolari scie luminose, le tradizionali stelle cadenti, che prendono il nome dalle costellazioni da cui sembrano provenire le loro scie (Leonidi, Geminidi, Perseidi, ecc.).

Al posto dei pianeti Urano, Nettuno e Plutone, cioè al di là del Cielo di Saturno, nel cosmo dantesco vi sono il Cielo delle Stelle Fisse ed il Primo Mobile. Quest'ultimo, peculiare cielo è citato già nell'Inferno:

« Quell'è 'l più basso loco e 'l più oscuro,
e 'l più lontan dal ciel che tutto gira »
(Inf. IX, 28-29)



Il "Ciel che tutto gira" è il Primo Mobile o Cielo Cristallino, così detto perchè è il primo a muoversi, ricevendo tale movimento da Dio e trasmettendolo ai cieli concentrici sottostanti; esso è il maggiore dei cieli materiali, eppure è invisibile dalla Terra. La potenza divina avente sede nell'Empireo, che come vedremo è l'autentico centro dell'universo, imprime ai cieli sottostanti un movimento rotatorio, rapidissimo nel Primo mobile e poi via via sempre più lento fino alla Terra, immobile al centro del cosmo. Come dice il nome, il Cielo Cristallino appare assolutamente uniforme in ogni suo punto, trasparente, diafano, tanto che Dante non può distinguere in quale punto esatto di esso Beatrice lo ha portato:

« ...Nel ciel velocissimo m'impulse.
Le parti sue vivissime ed eccelse
sì uniforme son, ch'i' non so dire
qual Bëatrice per loco mi scelse. »
(Par. XXVII, 99-102)

Leggiamo ora la spiegazione fornita al suo amato da Beatrice:

« La natura del mondo, che quïeta
il mezzo e tutto l'altro intorno move,
quinci comincia come da sua meta;
e questo cielo non ha altro dove
che la mente divina, in che s'accende
l'amor che 'l volge e la virtù ch'ei piove. [...]
Non è suo moto per altro distinto,
ma li altri son mensurati da questo,
sì come diece da mezzo e da quinto;
e come il tempo tegna in cotal testo
le sue radici e ne li altri le fronde,
omai a te può esser manifesto. »
(Par. XXVII,106-111.115-120)

Rileggiamolo insieme. Di qui ("quinci"), come dalla sua prima origine ("meta"), muove tutta la struttura dinamica dell'universo, la quale fa sì che sia immobile ("quïeta") il suo centro ("il mezzo"), cioè la Terra, e trascina tutta la rimanente natura in un incessante moto circolare. E questo Cielo, che include in sé tutte le altre sfere, non è incluso in nessun altro ("non ha altro dove") se non nella mente di Dio, cioè l'Empireo, che non è più un luogo, ma un modo di essere con Dio, da cui deriva l'ardente amore che lo fa girare ("volge") e la virtù che esso trasmette ("piove") alle sfere sottostanti. Il movimento del Primo Mobile, insomma, è determinato dal desiderio di Dio, così come da questo discende la virtù che egli suscita. Il suo moto non è determinato né misurato da un altro movimento, ed anzi tutti gli altri prendono da essi la loro misura, così come il 10 è il risultato del prodotto del suo decimo e del suo quinto. E a Dante deve ormai essere chiaro che anche il tempo, di cui non avremmo idea se non vedessimo qualcosa che si muove, ha le sue radici nel Primo Mobile, da cui dipende tutto il moto degli altri cieli. Sempre secondo l'Alighieri, il Primo Mobile è il cerchio più veloce perchè è governato dai Serafini, che, fra i cori angelici, sono i più vicini a Dio, e costituiscono il «*cerchio che più ama e che più sape*» (Par. XXVIII, 72): hanno cioè maggior ardore di carità e maggior sapienza rispetto agli altri cori angelici.

Un altro riferimento, seppur molto indiretto, al Cielo Cristallino è presente in questo passo del Paradiso:

« né prima né poscia procedette
lo discorrer di Dio sovra quest'acque. »
Par. XXIX, 20-21)

Non ci fu né un prima né un poi al momento della creazione, poiché essa avvenne fuori del tempo (un argomento sul quale ritorneremo). Quello che ci interessa ora è "quell'acque", un riferimento evidente ai primissimi versi della Genesi: *"E lo Spirito di Dio aleggiava sulle acque"* (Gen 1, 2). Le acque primordiali qui citate erano state introdotte

dagli Assiro-Babilonesi per spiegare perchè il cielo è azzurro. Per essi la Terra era piatta, il firmamento era una cupola trasparente sopra di esso, e al di là si trovava un oceano celeste, magione degli déi. Questa visione cosmologica passò poi nella bibbia, dove servì a spiegare "scientificamente" il diluvio universale: Dio aperse le cateratte del cielo, e le acque superiori tornarono a riversarsi sulla Terra. Ora, tale visione cosmologica "a Terra piatta" fa evidentemente a cazzotti con quella "a Terra sferica" adottata da Dante e da tutti gli aristotelici del Medioevo. Per spiegare questo passo biblico i dottori della chiesa medioevale identificarono le "acque sopra il cielo" con il Primo Mobile, formato da una materia incorruttibile che aveva in comune con l'acqua proprio la trasparenza. Una interpretazione a suo modo geniale, che spiega perfettamente il suddetto passo dantesco: non ci fu un prima e un poi prima che Dio creasse il Primo Mobile, dal quale dipende la misura stessa del tempo.

Sotto il Cielo Cristallino ed il Cerchio delle Stelle Fisse vi è il Cielo di Saturno, pianeta a proposito del quale il nostro poeta scrive:

« Noi sem levati al settimo splendore,
che sotto 'l petto del Leone ardente
raggia mo misto giù del suo valore. [...]
Dentro al cristallo che 'l vocabol porta,
cerchiando il mondo, del suo caro duce
sotto cui giacque ogne malizia morta... »
(Par. XXI, 13-15.25-27)

Saturno è il settimo pianeta; esso, trovandosi congiunto al segno del Leone, esercita nel mondo il suo influsso mescolato con la virtù che irradia da quella costellazione. Infatti Saturno era considerato da Dante un pianeta freddo e secco. Già nel Purgatorio il nostro autore aveva detto:

« Ne l'ora che non può 'l calor dïurno
intepidar più 'l freddo de la luna,
vinto da terra, e talor da Saturno... »
(Purg. XIX, 1-3)

Nell'astrologia del tempo di Dante, il Leone era ritenuto una costellazione di natura calda e secca (è un segno di fuoco); mescolandosi alle qualità di Saturno, l'una tempera l'altra. Siccome nel cielo di Saturno l'Alighieri vede gli Spiriti Contemplativi, che salgono e scendono sulla "scala di Giacobbe", l'accenno astrologico allude all'equilibrio necessario tra zelo contemplativo e sollecitudine apostolica. Dante aggiunge che questo "cristallo" (nel Paradiso tale termine indica una stella), girando intorno alla Terra ("cerchiando il mondo") porta il nome ("vocabol") del grande Re sotto il cui governo il mondo conobbe l'età più felice, la celeberrima Età dell'Oro. Si allude qui a Saturno, padre di Giove, conosciuto in Grecia come Crono, il Tempo, ma che nella mitologia romana fu identificato con il dio agreste che insegnò agli uomini l'arte dell'agricoltura. Non per nulla Saturno deriva da "sata", i campi coltivati.

La moderna planetologia ci insegna che Saturno è il sesto pianeta del Sistema solare in ordine di distanza dal Sole ed il secondo per raggio equatoriale (60.268 Km) e per massa (95 masse terrestri) dopo Giove; come Giove, Urano e Nettuno, è un gigante gassoso, cioè è formato da strati di idrogeno spessi migliaia di chilometri sopra un profondissimo nucleo roccioso. È l'unico però ad avere una densità inferiore a quella dell'acqua (0,70

Kg/dm^3). La sua caratteristica più peculiare è il suo vistoso sistema di anelli, il più esteso del sistema solare, formato di polveri e di particelle di ghiacci.

Più internamente rispetto al cielo di Saturno c'è il Cielo di Giove:

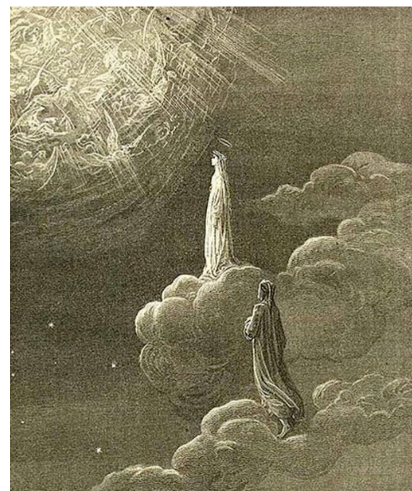
« E qual è 'l trasmutare in picciol varco
di tempo in bianca donna, quando 'l volto
suo si discarchi di vergogna il carco,
tal fu ne li occhi miei, quando fui vòlto,
per lo candor de la temprata stella
sesta, che dentro a sé m'avea ricolto.
Io vidi in quella giovïal facella
lo sfavillar de l'amor che lì era
segnare a li occhi miei nostra favella. »
(Par. XVIII, 67-72)

Insomma, come si nota l'improvviso cambiamento di colore in una donna dall'incarnato bianco, quando il suo volto abbandona il rossore naturalmente indottovi dalla vergogna, così avviene agli occhi di Dante quando sale dal Cielo di Marte a quello di Giove, perchè all'igneo fulgore marziano subentra l'argenteo candore di Giove.

Per quanto oggi ne sappiamo, Giove è il quinto pianeta del sistema solare in ordine di distanza dal Sole ed il maggiore di tutto il sistema planetario: il suo raggio misura 71.492 Km e la sua massa, pari a 316 masse terrestri, supera di due volte e mezza la somma di quelle di tutti gli altri pianeti messi insieme. Esso appare ad occhio nudo come un astro biancastro molto brillante, e rappresenta il quarto oggetto più brillante nel cielo dopo il Sole, la Luna e Venere. Come Saturno è un gigante gassoso con una composizione simile a quella del Sole: strati di idrogeno ed elio intorno ad un nucleo solido, e le pressioni sono talmente elevate da dar vita a uno stato esotico della materia, il cosiddetto idrogeno metallico, in grado di condurre elettricità. A causa delle sue dimensioni si tratta di una "stella mancata": se avesse avuto una massa di 80 volte superiore a quella attuale, nel suo nucleo avrebbe potuto innescare reazioni d fusione nucleare, il che avrebbe reso il Sistema Solare un sistema stellare binario.

Scendiamo ancora di un cielo, e ci troveremo al cospetto del pianeta Marte in persona:

« Quindi ripreser li occhi miei virtute
a rilevarsi; e vidimi translato
sol con mia donna in più alta salute.
Ben m'accors'io ch'io era più levato,
per l'affocato riso de la stella,
che mi parea più roggio che l'usato. »
(Par. XIV, 82-87)



Guardando lo splendore di Beatrice, luminosa tra lo splendore delle miriadi di spiriti sapienti del Cielo del Sole che gli si erano affollati intorno, Dante si sente sollevare nel cielo di Marte, e comprende di essere già nel quinto cielo quando vede lo splendore dell'astro, rosseggiante come fuoco. Già nella seconda cantica, all'apparire dell'Angelo Nocchiero che trasporta gli spiriti alla montagna del Purgatorio, Dante aveva scritto:

« Ed ecco, qual, sorpreso dal mattino,
per li grossi vapor Marte rosseggia
giù nel ponente sovra 'l suol marino... »
(Par. II, 13-15)

In altre parole: come Marte al mattino appare nel cielo ad occidente, rosseggiante per i densi vapori da cui è avvolto, eccetera. La spiegazione del fenomeno risale al *De Meteoris* di Aristotele, ed è chiarita da Dante stesso nel *Convivio*: *"Marte, [sì come dice Tolomeo nel Quadripartito], dissecca e arde le cose, perchè lo suo calore è simile a quello del fuoco; e questo è quello per che esso pare affocato di colore, quando più e quando meno, secondo la spessezza e raritade de li vapori che 'l seguono: li quali per lor medesimi molte volte s'accendono, sì come nel primo de la Metaura è diterminato."* (Convivio II, XIII, 20-21)

Marte è il quarto pianeta del sistema solare in ordine di distanza dal Sole e, tra i pianeti del sistema solare, è quello più simile alla Terra. Ha un raggio equatoriale di 3402Km e una massa pari a solo l'11 % di quello della Terra, ma presenta inclinazione dell'asse di rotazione e durata del giorno assai simili alle nostre. Inoltre la sua superficie presenta formazioni vulcaniche, canyon, calotte polari e deserti sabbiosi. Ha però un'atmosfera molto rarefatta (appena 6 millibar contro i circa 1000 terrestri) e temperature medie superficiali piuttosto basse, comprese tra -140 °C e 20 °C. Inoltre la bassa densità atmosferica non è in grado di fermare i meteoriti, che raggiungono il suolo con maggior frequenza che non sulla Terra. Viene chiamato il Pianeta Rosso, a causa del suo colore caratteristico dovuto alle grandi quantità di ossido di ferro che lo ricoprono, e ciò ha portato gli antichi ad identificarlo con il dio della guerra.

Saltando il Cielo del Sole, astro del quale riparleremo in seguito, scendiamo nel Cielo di Venere, universalmente identificata come la stella dell'amore, e che è stata già contemplata da Dante subito dopo essere uscito "a riveder le stelle", dalla spiaggia del Purgatorio, e in quella occasione ci ha già informato sull'estrema brillantezza di questo pianeta, tale da oscurare la costellazione dei Pesci:

« Lo bel pianeta che ad amar conforta
faceva tutto rider l'oriente,
velando i Pesci ch'erano in sua scorta »
(Purg., I, 19 -21)

Quando nel Paradiso va a visitarla di persona, Dante la indica con una complessa perifrasi:

« Solea creder lo mondo in suo periclo
che la bella Ciprigna il folle amore
raggiasse, volta nel terzo epiciclo;
per che non pur a lei faceano onore
di sacrificio e di votivo grido
le genti antiche ne l'antico errore;
ma Dïone onoravano e Cupido,
quella per madre sua, questo per figlio,
e dicean ch'el sedette in grembo a Dido;
e da costei ond'io principio piglio
pigliavano il vocabol de la stella
che 'l sol vagheggia or da coppa or da ciglio. »
(Par. VIII, 1-12)

In pratica, il poeta fiorentino ci racconta come tutti i popoli antichi, escluso ovviamente quello di Israele, ritenevano che Venere suscitasse nei cuori degli uomini l'inclinazione alla sensualità, e per questo le bruciavano olocausti e le elevavano preghiere, estendendo il culto anche alla sua mitologica madre Dione e a suo figlio Eros o Cupido. Quello strano verso ("la stella che 'l sol vagheggia or da coppa or da ciglio") indica una delle caratteristiche astronomiche del pianeta Venere, cioè il fatto che la si osservi soltanto prima del tramonto e dopo l'alba è dovuto al suo moto all'interno dell'orbita terrestre. Probabilmente "coppa" e "ciglio" indicano la faccia posteriore e la faccia anteriore dell'astro, che ora vede il Sole dietro di sé, ora davanti.

Più oltre nel Paradiso Dante aggiunge:



« Da questo cielo, in cui l'ombra s'appunta
che 'l vostro mondo face, pria ch'altr'alma
del trïunfo di Cristo fu assunta. »
(Par. IX, 118-119)

Il soggetto è Raab, la prostituta di Gerico che ospitò a casa sua gli esploratori inviati da Giosuè, e favorì così la conquista della città da parte del popolo ebraico. Ella fu assunta al grado di beatitudine degli Spiriti Amanti, alloggiati nel Cielo di Venere, prima fra tutte le anime che Cristo redense trionfando sulle Porte degli Inferi. Ma a noi interessano soprattutto le parole "in cui l'ombra s'appunta che 'l vostro mondo face": il cono d'ombra che la Terra proietta quando viene illuminata dal Sole giunge fino al terzo cielo, secondo la teoria esposta dall'astronomo persiano noto in Europa come Alfargano (IX secolo).

In termini propriamente astronomici, Venere è il secondo pianeta del sistema solare in ordine di distanza dal Sole, ed è l'oggetto più luminoso del cielo notturno, con l'eccezione della Luna. Essa raggiunge la massima brillantezza poco prima dell'alba o poco dopo il tramonto. Privo di satelliti, il suo raggio è inferiore a quello terrestre di soli 320 km, e la sua massa è pari all'81,5% di quella terrestre. Esso percorre la sua orbita in 224,7 giorni terrestri, ma impiega 243 giorni a ruotare su se stessa: quindi, il suo giorno è più lungo del suo anno. Su Venere inoltre il Sole sorge a ovest e tramonta a est (è l'unico pianeta a muoversi di moto retrogrado). Venere è circondata da una densissima atmosfera quasi interamente composta da anidride carbonica, la cui pressione al suolo raggiunge le 92 atmosfere.

Immediatamente sotto il cielo di Venere c'è quello di Mercurio. Dante non ci fornisce molti particolari circa questo astro, ma era conscio delle sue ridotte dimensioni come dimostrano le parole dell'imperatore Giustiniano circa la piccolezza di questo astro:

« Questa picciola stella si correda
d'i buoni spirti che son stati attivi
perchè onore e fama li succeda »
(Par. VI, 112-114)

Infatti Mercurio è il primo pianeta del sistema solare in ordine di distanza dal Sole e il più piccolo in dimensioni, con un raggio si appena 2439,7 Km e una massa che è meno del 6% di quella terrestre. Impiega solo 88 giorni per ruotare intorno al Sole e 58,6 giorni per compiere un giro su se stesso.

Rileggiamo ora la "carrellata d'insieme" di tutti i cieli scorsi da Dante mentre sale all'Ottavo Cielo delle stelle fisse:

Vidi la figlia di Latona incensa
sanza quell'ombra che mi fu cagione
per che già la credetti rara e densa.
L'aspetto del tuo nato, Iperïone,
quivi sostenni, e vidi com'si move
circa e vicino a lui Maia e Dïone.
Quindi m'apparve il temperar di Giove
tra 'l padre e 'l figlio; e quindi mi fu chiaro
il varïar che fanno di lor dove;
e tutti e sette mi si dimostraro
quanto son grandi e quanto son veloci
e come sono in distante riparo. »
(Par. XXII, 139- 150)

C'è la figlia di Latona (la Luna), il Sole, indicato con il nome greco di Iperione ("colui che sta in alto"); ci sono Mercurio e Venere, rappresentati dai nomi delle rispettive madri (Maia e Dione); c'è Giove, che come visto "tempera", cioè media, fra il calore del figlio (Marte) e il gelo del padre Saturno; e di tutti Dante vede "il varïar che fanno", cioè i complessi moti dovuti al gioco di epicicli e deferenti, che abbiamo visto essere peculiari dell'astronomia tolemaica. Da lassù, Dante può rendersi conto delle loro reali dimensioni, della loro velocità e della distanza fra le loro orbite ("riparo" è termine tecnico del tempo per indicare il luogo proprio di ogni astro). Si noti come in questi versi sia nascosto un concetto molto caro all'esoterismo moderno, quello dell'allineamento planetario. Per poter penetrare in tutti i corpi celesti durante la sua ascesa al cielo, infatti, si direbbe che Dante abbia incontrato una congiuntura astronomica particolarmente favorevole, e cioè tutti i sette pianeti radunati entro un piccolo angolo, se non proprio tutti allineati. Si tratta di un evento abbastanza raro, ma è capitato nel passato che Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, Urano e Nettuno si siano ritrovati tutti dalla stessa parte rispetto al Sole(l'ultima volta si verificò il 10 marzo 1982). Il miglior allineamento degli ultimi duemila anni si è verificato l'11 aprile 1128, entro un angolo di 40°.

In questo paragrafo, tra i vari astri esaminati, non abbiamo parlato del Cielo delle Stelle Fisse (la Via Lattea), della Luna, del Sole e della Terra in maniera esplicita, poiché è bene dedicare ad essi un appositi paragrafi.

4. La Via Lattea

"Come distinta da minori e maggi
lumi biancheggia tra' poli del mondo
Galassia sì, che fa dubbiar ben saggi;
sì costellati facean nel profondo
Marte quei raggi il venerabil segno
che fan giunture di quadranti in tondo."
(Par. XIV, 99-104)

La protagonista di questi versi è la Via Lattea, che ai tempi di Dante era considerata la "Galassia" per antonomasia (e l'unica conosciuta). I "ben saggi" cui Dante accenna sono Aristotele, Alberto Magno ed altri. Dante espone nel Convivio (II, XIV, 5-8) alcune delle loro opinioni, e, sorprendentemente, anticipa con grande acutezza proprio ciò che noi impariamo fin da bambini, e cioè che la Via Lattea altro non è se non un immenso agglomerato di stelle, troppo dense e lontane per essere risolte una per una. Inizialmente questo biancore venne interpretato in senso mitologico: due in proposito sono le principali interpretazioni della galassia secondo i poeti e i mitografi greci. Esiodo racconta che Zeus, figlio di Crono e di Rea, nacque a Creta, dove fu nascosto in una grotta sul monte Ida, per nasconderlo al padre, che divorava tutti i suoi figli dopo che un Oracolo gli aveva predetto che uno di essi lo avrebbe detronizzato. Infatti Dante registra questo mito con i seguenti versi, messi in bocca a Virgilio:



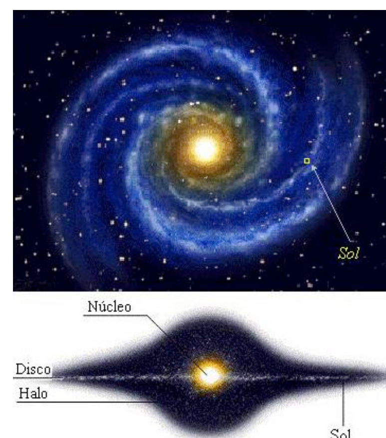
"In mezzo mar siede un paese guasto",
diss'elli allora, "che s'appella Creta,
sotto 'l cui rege fu già 'l mondo casto.
Una montagna v'è che già fu lieta
d'acqua e di fronde, che si chiamò Ida;
or è diserta come cosa vieta.
Rëa la scelse già per cuna fida
del suo figliuolo, e per celarlo meglio,
quando piangea, vi facea far le grida." (Inf. XIV, 94-102)

Rea aveva dato ordine ai Coribanti, un popolo dell'isola di Creta, di mettersi a cantare a squarciagola e di fare musica a più non posso ogni volta che il piccolo Zeus si metteva a piangere, così da impedire che il padre udisse i suoi vagiti. Zeus era nutrito dalla capra Amaltea. Un giorno però una poppata di latte gli scappò dalla bocca e finì in cielo, e da qui sarebbe nata la Via Lattea.

Un'altra versione ricollega la Via Lattea al mito di Fetonte, figlio del Sole e della ninfa Climene. Questi ottenne dal padre il permesso di guidare per una volta il carro del sole attraverso il cielo, ma, a causa della sua inesperienza, non riuscì a trattenere la foga dei cavalli *"il temo/che mal guidò Fetonte"* (Par. XXXI, 124-125) e, uscendo dal cammino consueto, rischiò di incendiare tutta la natura, tanto che la Madre Terra dovette pregare Zeus di intervenire, e il Padre degli Dei non poté far altro che fulminare l'incauto auriga:

"Quel del Sol che, svïando, fu combusto
per l'orazion de la Terra devota,
quando fu Giove arcanamente giusto."
(Purg. XXIX, 118-120)

Ora, il carro del Sole, uscito dalla sua via diurna *("la strada/che mal non seppe carreggiar Fetòn... "* Purg. IV, 71-72*)*, lasciò anche una bruciatura nel cielo, come riporta lo stesso Dante:



"Maggior paura non credo che fosse
quando Fetonte abbandonò li freni,
per che 'l ciel, come pare ancor, si cosse "
(Inf. XVII, 106-108)

La Via Lattea, visibile ancor oggi a tutti noi, mostrerebbe chiaramente la cicatrice di quella millenaria bruciatura. Al giorno d'oggi inoltre sappiamo che la galassia ha una forma a spirale, o a spirale barrata, con un diametro di circa 100.000 anni luce e uno spessore di circa 1000 anni luce. Il Sole si trova a 26.000 anni luce dal centro galattico, nel cosiddetto Braccio di Orione, e rappresenta una delle miliardi di stelle che formano la Via Lattea, che, a sua volta, è una delle miliardi di galassie che formano il nostro universo, che, probabilmente, a sua volta, è uno dei miliardi di possibili universi.

5. La Luna e il Sole

La Luna, unico satellite naturale della Terra, per Dante era anche il primo dei pianeti. La Luna ha un raggio equatoriale di 1738 Km (un quarto di quello terrestre), una superficie inferiore a quella dell'Asia, una massa pari a 1/81 di quella terrestre e una gravità pari a un sesto della nostra. A causa della bassa gravità, non può trattenere un'atmosfera, e quindi la sua superficie appare brulla, arida e fortemente craterizzata. Nel Medioevo fiorirono numerose leggende circa le immagini visibili sulla superficie lunare, tanto che nella Quarta Bolgia, quella degli Indovini, Dante usa una strana perifrasi per riferirsi al satellite della Terra:

« Ma vienne omai, ché già tiene 'l confine
d'amendue li emisperi e tocca l'onda
sotto Sobilia Caino e le spine
e già iernotte fu la luna tonda »
(Inf. XX, 124-127)

Ecco il significato: la Luna già lambisce il confine che divide il nostro emisfero (quello di Gerusalemme) dall'altro (quello del Purgatorio), e si tuffa in mare presso Siviglia ("Sobilia"), considerata allora la città più occidentale d'Europa; e poiché ci troviamo nel plenilunio ("la luna tonda"), ciò significa che sono circa le sei del mattino. Ma che c'entra Caino? Il fatto è che, secondo una leggenda popolare, nelle macchie lunari sarebbe ravvisabile l'immagine del fratricida Caino, esiliato sulla Luna e condannato a portare in eterno sulle spalle un fascio di spine.

La Luna compie un'orbita completa intorno alla Terra ogni 27 giorni, 7 ore, 43 minuti e 11 secondi, ma un osservatore sulla Terra conta circa 29,5 giorni tra una luna nuova e la successiva, a causa del contemporaneo movimento di rivoluzione terrestre. Inoltre ruota intorno a se stessa nello stesso tempo impiegato per girare attorno alla Terra, di conseguenza, la Luna rivolge alla Terra sempre la stessa faccia. Quando si volge indietro a contemplare il suo cammino dall'alto delle Stelle Fisse, Dante ha l'occasione di dare una sbirciata proprio all'altra faccia della Luna:

Vidi la figlia di Latona incensa
sanza quell'ombra che mi fu cagione
per che già la credetti rara e densa »
(Par. XXII, 139-141)

La Luna, a causa della sua attrazione gravitazionale (forze di marea), è responsabile del periodico spostamento delle masse d'acqua terrestri, che si innalzano e si abbassano

anche di 10-15 metri, dando vita rispettivamente all'alta e alla bassa marea, con frequenza giornaliera. Poteva Dante evitare di descrivere anche questo fenomeno? Certamente no:

« E come 'l volger del ciel de la luna
cuopre e discuopre i liti sanza posa,
così fa di Fiorenza la Fortuna »
(Par. XVI, 82-84)

In questo caso, le maree sono prese a simbolo delle alterne fortune del comune di Firenze. Anche se Dante era a conoscenza di questa relazione tra le maree e le fasi lunari, la spiegazione fisica esatta verrà solo con Newton (XVII secolo) attraverso la legge della gravitazione universale.

Oltre ai crateri, una delle caratteristiche più notevoli della faccia visibile della Luna sono i mari, così chiamati quando ancora si pensava che contenessero acqua come i mari della Terra. Si tratta in realtà di regioni pianeggianti di colore scuro, costituite essenzialmente di basalti, originatesi da antichissime eruzioni di magma seguite all'impatto con asteroidi particolarmente massicci. L'esistenza delle macchie lunari (crateri e mari) sollevò parecchi problemi, visto che nella concezione cosmologica aristotelica e tolemaica, il mondo celeste doveva essere costituito esclusivamente da sfere perfette di etere, cioè formate da una sostanza incorruttibile. Del problema infatti si è occupato anche il nostro poeta quando, salito nel Cielo della Luna, ha chiesto a Beatrice il suo parere in proposito:

« Ma ditemi: che son li segni bui
di questo corpo, che là giuso in terra
fan di Cain favoleggiare altrui? »
(Par. II, 49-51)

Vale la pena di riportare tale dialogo perchè è particolarmente esemplificativa di come avveniva una discussione di argomento scientifico ai tempi di Dante. Questa è la struttura del ragionamento, riportato nel Canto II del Paradiso:

1) Proposta mitologica e suo rifiuto (vv. 50-51)
2) Tesi materialistico-scientifica e sua confutazione:
2.1) per reductio ad absurdum (dimostrazione per assurdo) (vv.64-72)
2.2) per experimentum (vv. 73-82)
2.3) per analogia (argumenta exemplorum) e per experimentum (vv. 82-105)
3. La spiegazione metafisica: la dimostrazione:
3.1 per deduzione sillogistica (vv. 112-124)
3.2 per analogia (argumenta exemplorum) (vv. 127-144)

«Ma dimmi quel che tu da te ne pensi»
(Par. II, 58)

inizia Beatrice, invitando il suo amato ad esporre la sua ipotesi in merito. L'Alighieri risponde con la soluzione del problema proposta da Averroè: la colorazione scura sarebbe dovuta a zone in cui la materia, immaginata pur sempre perfetta e incorruttibile, è più rarefatta:

« E io: "Ciò che n'appar qua sù diverso
credo che fanno i corpi rari e densi". »
(Par. II, 59-60)

Tutto il resto del canto è occupato dalla confutazione logica di tale congettura. Tanto per cominciare, una confutazione per assurdo: se accogliessimo la proposta di Averroè, dovremmo supporre che nelle stelle, innumerevoli e diversamente luminose, dell'Ottavo Cielo, vi sia un'unica ed identica virtù; ed invece la differenziazione delle specie del mondo sublunare, dove quelle stelle sono chiamate ad operare con le loro influenze, postula una molteplicità di virtù, di principi formali distinti:

« Se raro e denso ciò facesser tanto,
una sola virtù sarebbe in tutti,
più e men distributa e altrettanto.
Virtù diverse esser convegnon frutti
di princìpi formali, e quei, for ch'uno,
seguiterìeno a tua ragion distrutti. »
(Par. II, 67-72)

Beatrice propone, in coerenza con l'ipotesi di Dante, di costruire un modello della Luna, non dissimile dalle modellizzazioni della scienza contemporanea. Se la Luna è composta da materiali di due diverse densità, i casi sono due: o queste zone meno dense attraversano tutto il corpo, e quindi vanno da una faccia all'altra; oppure si dispongono a strati, per cui vi sono zone superficiali in cui cambia la densità.



« Ancor, se raro fosse di quel bruno
cagion che tu dimandi, o d'oltre in parte
fora di sua materia sì digiuno
esto pianeto, o, sì come comparte
lo grasso e 'l magro un corpo, così questo
nel suo volume cangerebbe carte. »
(Par. II, 74-78)

In altre parole: se la rarefazione fosse la causa di quelle macchie scure di cui tu mi hai chiesto conto, o questo pianeta sarebbe così scarso della sua materia da parte a parte o, come il corpo distribuisce le parti grasse e magre, così la luna alternerebbe gli strati nel suo spessore.

Dopo aver proposto con logica inoppugnabile i due modelli, Beatrice propone due esperimenti che mostreranno quanto sia errata l'ipotesi iniziale. Il primo caso è falsificabile in modo semplice:

« Se 'l primo fosse, fora manifesto
ne l'eclissi del sol, per trasparere
lo lume come in altro raro ingesto. »
(Par. II, 79-81)

Cioè: se fosse valido il primo modello, sarebbe evidente durante l'eclissi di Sole, perché la luce trasparirebbe come in ogni altro corpo rarefatto che si interponesse tra noi e l'astro. Insomma, osservando le eclissi di sole, in cui la Luna si interpone tra il Sole e la

Terra, non si osserva nessuna trasparenza di luce dal disco lunare, e quindi la prima ipotesi è giudicata scorretta "per experimentum".

Il secondo modello invece è più complesso da confutare. Se vi sono zone di minore densità, quando la luce colpisce la superficie lunare, viene riflessa immediatamente dalle zone più dense e assorbita da quelle più rarefatte che la rifletteranno quando, sul fondo, la luce raggiungerà la zona a maggior densità. Si potrebbe allora pensare che, quando il raggio viene riflesso più in profondità, l'effetto sulla superficie lunare sia una perdita di intensità luminosa, e quindi zone più scure:

« Or dirai tu ch'el si dimostra tetro
ivi lo raggio più che in altre parti,
per esser lì refratto più a retro.
Da questa instanza può deliberarti
esperïenza, se già mai la provi,
ch'esser suol fonte ai rivi di vostr'arti. »
(Par. II, 91-96)

Importantissime queste parole di Beatrice, le quali dimostrano come la scienza medioevale non fosse affatto basata unicamente sul principio d'autorità (*ipse dixit*). Per sconfessare anche il secondo modello, propone un esperimento che chiunque di noi può ripetere. Consiste nel prendere tre specchi, due più vicini e uno più lontano, accendervi una candela davanti e osservarne l'immagine riflessa:



« Tre specchi prenderai; e i due rimovi
da te d'un modo, e l'altro, più rimosso,
tr'ambo li primi li occhi tuoi ritrovi.
Rivolto ad essi, fa che dopo il dosso
ti stea un lume che i tre specchi accenda
e torni a te da tutti ripercosso »
(Par. II, 97-102)

Benché l'estensione della fiammella riflessa nello specchio più lontano sia più piccola, la sua luminosità è la stessa, come si vede nella simulazione sottostante:

« Ben che nel quanto tanto non si stenda
la vista più lontana, lì vedrai
come convien ch'igualmente risplenda. »
(Par. II, 103-105)

Si tratta di un principio fisico importantissimo, utilizzato nella moderna astrofisica: la brillanza superficiale (o magnitudine) di un corpo non dipende dalla distanza, ed è per questo utilizzata per determinare la distanza di oggetti lontani. La scala con cui venivano misurate le magnitudini era quella formulata da Ipparco di Nicea (190-120 a.C.), e resa popolare da Tolomeo nel suo *Almagesto*: in pratica, essi divisero le stelle visibili ad occhio nudo in sei classi, chiamate magnitudini, da quelle più luminose (M=+1) fino alla sesta magnitudine (M=+6), al limite della visione umana senza l'ausilio di strumenti ottici. Naturalmente oggi si usa un metodo più raffinato e preciso.

Tornando alla nostra discussione, Beatrice conclude la sua argomentazione ricordando a Dante come tutte le realtà terrene sono determinate da influenze celesti. Dentro l'Empireo, il cielo immobile formato dallo splendore della prima mente, si muove un corpo, il Primo Mobile, nella cui virtù ha fondamento l'essere di tutto ciò che da essa è

sostenuto, e cioè la vita dell'universo. Il cielo successivo ripartisce l'essere, la virtù universale e indistinta che riceve dal Primo Mobile, distribuendola in diverse essenze, nella moltitudine delle stelle di cui si adorna. Nel cielo stellato dunque si attua la prima differenziazione dall'uno al molteplice. I sette cieli dei pianeti dispongono in differenti modi le distinte virtù, così che esse possano attuare i loro influssi quaggiù sulla Terra e tra gli uomini.

Ma i movimenti e gli influssi degli astri procedono di necessità dalle intelligenze angeliche; i cieli sono soltanto lo strumento degli effetti che ne derivano, mentre gli angeli ne sono la causa efficiente. La virtù angelica, mista e compenetrata con la stella, a causa della natura lieta da cui procede, risplende attraverso il corpo planetario. Da questa virtù, che così variamente si mescola con i corpi celesti e fa con essi diversa lega, deriva la loro luminosità, differente da stella a stella, e da una parte all'altra di uno stesso astro. La letizia degli angeli si esprime negli astri come la luce: a una maggiore o minore letizia corrisponde nella stella, o nelle sue parti, un maggiore o minore grado di luminosità. Le macchie scure, cioè la minore luminosità della Luna, sono dunque indice del grado di imperfezione della Luna, che orbita nel cielo più basso:

« E come l'alma dentro a vostra polve
per differenti membra e conformate
a diverse potenze si risolve,
così l'intelligenza sua bontate
multiplicata per le stelle spiega,
girando sé sovra sua unitate.
Virtù diversa fa diversa lega
col prezïoso corpo ch'ella avviva,
nel qual, sì come vita in voi, si lega.
Per la natura lieta onde deriva,
la virtù mista per lo corpo luce
come letizia per pupilla viva.
Da essa vien ciò che da luce a luce
par differente, non da denso e raro;
essa è formal principio che produce,
conforme a sua bontà, lo turbo e 'l chiaro».
(Par. II, 133-148)



Questo discorso di Beatrice rappresenta il tipico esempio di logica scolastica: nella spiegazione di un qualunque fenomeno si parte da un assunto e da questo si deduce, attraverso rigorosi passaggi logici, l'unica vera risposta possibile con tutte le sue conseguenze, confutando man mano tutte le obiezioni. Certamente l'ipotesi delle influenze celesti, qui "dimostrata" come vera a partire dai "postulati" aristotelici, oggi può farci sorridere, dopo che noi abbiamo ammirato le immagini dei crateri lunari ripresi da distanza ravvicinata dalle varie missioni a partire da Apollo 11. Tuttavia, al di là della verità scientifica o meno degli assunti, dal II Canto del Paradiso emerge un Dante nel quale il gusto alla razionalità è tale, da approntare un esperimento per dimostrare il proprio assunto, in questo caso il fatto che nell'universo ogni cosa ha un significato. L'amore di Dante per la conoscenza è tutto in questa tensione ad andare a fondo del mistero che ha dato vita a tutte le cose.

Adesso è giusto dedicare le nostre attenzione al Cielo del Sole, nel quale Dante si addentra nel Canto X del Paradiso:

« Lo ministro maggior de la natura,
che del valor del ciel lo mondo imprenta
e col suo lume il tempo ne misura,
con quella parte che sù si rammenta
congiunto, si girava per le spire
in che più tosto ognora s'appresenta »
(Par. X, 28-33)

Dante, nella sua cosmologia geocentrica, considerava il Sole come quarto pianeta, e non il centro del sistema solare, come nella nostra cosmologia eliocentrica; tuttavia, una caratteristica lo differenzia immediatamente da tutti gli altri: la luce sfolgorante che esso emana. Per questo il Sole è definito dall'Alighieri come il maggior rappresentante di Dio nell'universo materiale: tutti i pianeti sono "ministri della natura", ma il Sole illumina tutte le cose, imprime sul nostro mondo la sua ineguagliabile influenza, e ci permette di misurare il tempo. Una delle migliori descrizioni del corso del Sole lo troviamo nel IV canto del Purgatorio, in cui Dante sta faticosamente ascendendo al primo balzo dell'Antipurgatorio, dove si trovano i negligenti, che tardarono a pentirsi fino alla fine della loro esistenza, e prima di entrare nel Purgatorio propriamente detto debbono aspettare tanto tempo quanto vissero. Dante compie la seconda grande osservazione astronomica di questa cantica, dopo quella di Venere in congiunzione con i Pesci, da lui vista appena sbucati fuori "a riveder le stelle": il nostro viaggiatore osserva i "bassi liti", cioè la spiaggia dell'isola del Purgatorio, quindi alza gli occhi verso il Sole, e scopre che esso si alza in cielo alla sua sinistra, fra lui e il settentrione ("Aquilone"):

« Li occhi prima drizzai ai bassi liti;
poscia li alzai al sole, e ammirava
che da sinistra n'eravam feriti. »
(Purg, IV, 55-57)

Virgilio si rende conto che il suo discepolo se ne resta tutto stupito ad osservare *« il carro de la luce, ove tra noi e Aquilone intrava »* (Purg. IV, 59-60), e gli risponde con una delle migliori spiegazioni astronomiche dell'intero poema:

« Se Castore e Poluce
fossero in compagnia di quello specchio
che sù e giù del suo lume conduce,
tu vedresti il Zodiaco rubecchio
ancora a l'Orse più stretto rotare,
se non uscisse fuor del cammin vecchio. »
(Par. IV, 66-75)

Questo è dunque il significato della dotta disquisizione virgiliana, che nulla ha da invidiare alla lezione di Beatrice sulle macchie lunari e le influenze celesti: se la costellazione dei Gemelli (indicata con la locuzione "Castore e Polluce", le stelle più luminose della costellazione in oggetto) si trovasse in congiunzione con il Sole, cioè se fossero vicini al solstizio d'estate, Dante vedrebbe la parte "rubecchia" ("rosseggiante", toscanismo) dello Zodiaco, che è quella dove si trova il Sole con il suo calore, ruotare ancora più vicina alle due Orse, cioè più a nord, e quindi ancora più a sinistra, a meno che non abbandonasse il suo cammino consueto, il che è manifestamente assurdo. Da notare che il Sole qui è chiamato "specchio" in quanto corpo luminoso, in cui gli altri corpi celesti si rispecchiano, e "che sù e giù del suo lume conduce", significa che l'astro diurno illumina alternativamente l'emisfero boreale e quello australe, a seconda del corso delle stagioni.

Ma continuiamo la lettura:

« Come ciò sia, se 'l vuoi poter pensare,
dentro raccolto, imagina Sïòn
con questo monte in su la terra stare
sì, ch'amendue hanno un solo orizzòn
e diversi emisperi; onde la strada
che mal non seppe carreggiar Fetòn,
vedrai come a costui convien che vada
da l'un, quando a colui da l'altro fianco,
se lo 'ntelletto tuo ben chiaro bada. »
(Par. IV, 67-75)

Se Dante vuole comprendere come ciò possa accadere, deve raccogliersi in meditazione e immaginare Gerusalemme (Sïòn è il monte su cui sorge la città di Gerusalemme) e il Purgatorio collocati sulla Terra in modo da avere un medesimo orizzonte astronomico, trovandosi in diversi emisferi. Ciò può accadere solo se il Paradiso si trova agli antipodi esatti di Gerusalemme, cioè a 31°47′ latitudine Sud e 35°13′ longitudine Ovest, e quindi Sion e la montagna del Purgatorio si trovano proprio nel mezzo di due emisferi opposti. Ciò posto, la strada che il Sole percorre nel suo moto diurno, e che il mitologico Fetonte, figlio di Elio, non fu in grado di percorrere quando gli fu affidato il carro del Sole, rispetto a "costui" (al Purgatorio), deve procedere da destra a sinistra, e rispetto a "colui" (al monte Sion) da sinistra a destra. Perciò chi, trovandosi a Gerusalemme, guarda verso est, ha il sole alla sua destra; chi sta nel Purgatorio, con gli occhi rivolti a levante, è illuminato a sinistra.

Per dimostrare che ha capito bene, Dante vuole mettersi in mostra agli occhi di Virgilio, imbastendo a sua volta una deduzione:

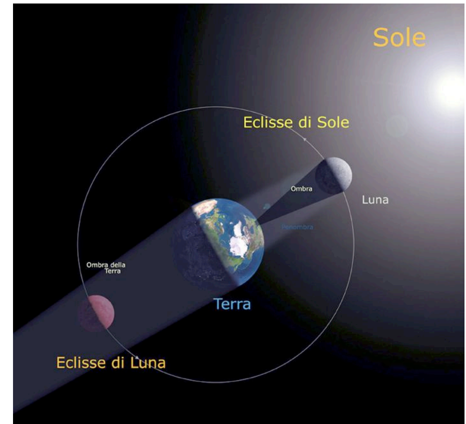
« 'l mezzo cerchio del moto superno,
che si chiama Equatore in alcun'arte,
e che sempre riman tra 'l sole e 'l verno,
per la ragion che di', quinci si parte
verso settentrïon, quanto li Ebrei
vedevan lui verso la calda parte. »
(Purg. IV, 79-84)

In altre parole: "il mezzo cerchio del moto superno", cioè il cerchio mediano della rotazione celeste, che in astronomia ("in alcun'arte") è chiamato equatore, il quale resta sempre tra la latitudine dove si trova il Sole e quella dove è inverno (infatti è inverno per l'emisfero australe quando il sole si trova in quello boreale, e viceversa), per essere Gerusalemme e il Purgatorio antipodi fra loro, dista tanto dal Purgatorio verso nord, di quanto gli Ebrei lo vedevano verso sud ("la calda parte"). Subito dopo, Belacqua, vecchio amico di Dante e proverbiale per la sua pigrizia, lo prenderà in giro con queste parole:

« Hai ben veduto come 'l sole
da l'omero sinistro il carro mena? »
(Purg. IV, 119-120)

Il Sole ha una temperatura superficiale di circa 5780 K, un raggio equatoriale di 696.000 Km (109 volte quello della Terra) e una massa pari a 333.000 volte quella del nostro pianeta. È costituito essenzialmente per il 74 % della sua massa da idrogeno e per il 25% da elio, e ricava la sua energia grazie a processi di fusione termonucleare che

comporta la trasformazione di materia in energia; si calcola che questo processo potrà funzionare ancora per cinque miliardi di anni.



Un fenomeno che coinvolge sia la Luna che il Sole è quello dell'eclisse, reso possibile dalla fortunata coincidenza per cui il diametro apparente del Sole e della Luna visti da Terra sono pressoché coincidenti. E Dante ne parla con ampiezza ed estrema chiarezza nel canto XXIX del Paradiso, in cui Beatrice mette in guardia l'amato nei confronti di quei teologi che sostengono in buona o in cattiva fede dottrine mal ragionate, per pura smania di apparire ingegnosi e originali, e peggio ancora di quei predicatori che dal pulpito spacciano favole per parola di Dio, tacendo invece i precetti del Vangelo. Di queste "favole" Beatrice fa un esempio:

« Per apparer ciascun s'ingegna e face
sue invenzioni; e quelle son trascorse
da' predicanti e 'l Vangelio si tace.
Un dice che la luna si ritorse
ne la passion di Cristo e s'interpuose,
per che 'l lume del sol giù non si porse;
e mente, ché la luce si nascose
da sé: però a li Spani e a l'Indi
come a' Giudei tale eclissi rispuose. »
(Par. XXIX, 94-102)

Dante qui riferisce l'opinione di quanti, trattando dell'oscuramento del Sole alla morte di Gesù (Mt 27, 45; Mc 25, 33; Lc 23, 44), si sforzavano di darne a tutti i costi una spiegazione scientifica, supponendo che la Luna fosse uscita dalla sua orbita per interporsi fra il Sole e la Terra. Questa proposta era stata avanzata per la prima volta in un'epistola dello Psudo-Dionigi l'Aeropagita e presa per buona anche da San Tommaso (Summa Theologica III, XLIX, 2). Ipotesi assurda, controbatte Beatrice, perché in tal caso l'eclissi avrebbe interessato solo alcune regioni del pianeta, e non si sarebbe estesa su tutta la Terra, come dicono gli evangelisti, mostrandosi non solo ai Giudei, ma anche agli abitanti della Spagna e dell'India, cioè a coloro che vivevano rispettivamente all'estremo confine occidentale e orientale del mondo abitato. L'ipotesi di San Gerolamo, qui sposata da Dante, afferma invece che il Sole offuscò da sé il proprio splendore, senza alcun mutamento nel moto dei corpi celesti. Fenomeno interpretabile solo alla luce della fede senza bisogno di cercare per forza una spiegazione scientifica.

6. La Terra

Quando Beatrice espone a Dante le ragioni di fede per spiegare le eclissi, essi si trovano nel Primo Mobile e, di conseguenza, possono abbracciare dall'alto la Giudea, la Spagna e l'India con un unico sguardo. Una seconda volta Dante si ritrova ad osservare la Terra dallo spazio. Subito dopo la feroce invettiva di San Pietro contro i papi corrotti, Dante vede i Beati tornare all'Empireo (mentre nella sua ascesa al cielo gli si erano presentati distribuiti tra i vari cieli), e Beatrice invita il suo amato ad abbassare ("adima")

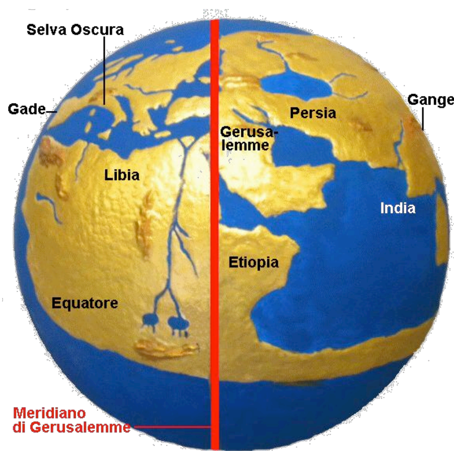
lo sguardo per rendersi conto di quale arco ha percorso nel firmamento, mentre si trovava in compagnia di San Pietro, San Giacomo il Maggiore e San Giovanni Evangelista nella costellazione dei Gemelli:

« Onde la donna, che mi vide assolto
de l'attendere in sù, mi disse: "Adima
il viso e guarda come tu se' vòlto." »
(Par. XXVII, 76-78)

Dante obbedisce, ed ecco ciò che vede:

« Da l'ora ch'ïo avea guardato prima
i' vidi mosso me per tutto l'arco
che fa dal mezzo al fine il primo clima;
sì ch'io vedea di là da Gade il varco
folle d'Ulisse, e di qua presso il lito
nel qual si fece Europa dolce carco.
E più mi fora discoverto il sito
di questa aiuola; ma 'l sol procedea
sotto i mie' piedi un segno e più partito. »
(Par. XXVII, 79-87)

In altre parole: da quando aveva guardato per la prima volta verso la Terra (Par. XXII, 127-154), il poeta si accorge di aver percorso tutto l'arco celeste corrispondente, sulla Terra, allo spazio che va dal mezzo all'estremità occidentale ("il fine") del "primo clima". Gli antichi geografi distinguevano la Terra abitata in "sette climi", ossia in sette fasce orizzontali, a cominciare dall'equatore verso nord. Dante, quando si era voltato per guardare in giù la prima volta, si trovava, con la costellazione dei Gemelli, sopra il meridiano di Gerusalemme, e quindi contemplava un panorama simile a quello in figura. Ora sono passate sei ore e, avendo percorso in cielo un arco di 90°, si trova a perpendicolo sul meridiano di Gade (cioè di Cadice), considerata la città più occidentale d'Europa e di tutto il mondo abitato. La geografia di Dante è assai diversa da quella a noi nota: il punto più orientale da lui conosciuto è il delta del Gange, a circa 90° di longitudine Est, come rilevabile da parecchi versi della Commedia, ed inoltre il nostro poeta ritiene tutte le terre emerse concentrate nell'emisfero boreale, essendo l'altro quello "oceanico". Se ne deduce che tutte le terre sono in effetti concentrate dentro un quarto della superficie terrestre, quello compreso tra il Polo Nord e l'Equatore, e tra il meridiano di Gade e quello del delta del Gange; il meridiano di Gerusalemme si trova esattamente a metà tra questi due, sulla scorta di quanto scrive il profeta Ezechiele: *«Così dice il Signore Dio: Questa è Gerusalemme! Io l'avevo collocata in mezzo alle genti e circondata di paesi stranieri»* (Ezechiele 5, 5). In altre parole, se Dante assume come meridiano fondamentale quello di Gerusalemme (0° di Longitudine) come noi facciamo con Greenwich, Cadice si trova a una longitudine di 90° W e il delta del Gange a 90° E.

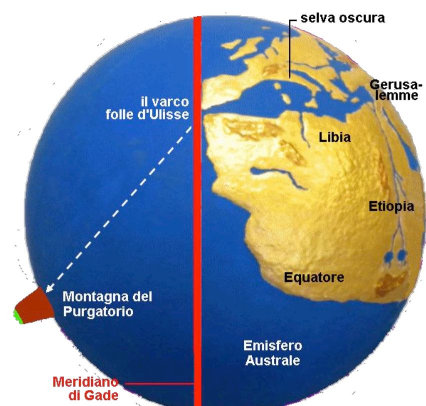


In effetti, come detto sopra, tra Cadice e l'India orientale ci sono circa 96° di longitudine, non 180°, e Gerusalemme ha una longitudine di 35°12' E, dunque non è a

mezza strada tra i due suddetti meridiani: la scarsa conoscenza dell'Asia da parte di Dante gli ha tirato un brutto scherzo, anche se ai suoi tempi l'Estremo Oriente non era ignoto agli europei (basti pensare a Marco Polo). Queste conoscenze geografiche appaiono però sconosciute all'Alighieri, che preferisce attenersi alla geografia dei classici come Plinio e Isidoro. Ipotizzando dunque che la distanza in longitudine tra Cadice e Gerusalemme corrisponda a 90°, tramite semplici calcoli si giunge a un risultato stupefacente: secondo Dante, la Terra ha un raggio equatoriale di soli 2900 Km circa, contro i 6378 effettivi, e quindi il meridiano misurerebbe solo 18.230 Km, contro i reali 40.000, cifra ben nota peraltro al greco ***Eratostene*** (276 a.C.-194 a.C.) e a molti geografi arabi. Quello di Dante è dunque un pianeta Terra piccolo e in gran parte occupato dalle acque: i tre continenti, estremamente addensati l'uno accanto all'altro, occuperebbero meno di 25 milioni di Km^2 (oggi sappiamo che la sola Africa ha una superficie di 30.227.467 Km^2). C'è pero da dire che, in un altro passo della sua Commedia, Dante sembra contraddire il calcolo appena svolto. Infatti il XXX Canto del Paradiso così inizia:

« Forse semilia miglia di lontano
ci ferve l'ora sesta, e questo mondo
china già l'ombra quasi al letto piano,
quando 'l mezzo del cielo, a noi profondo,
comincia a farsi tal, ch'alcuna stella
perde il parere infino a questo fondo »
(Par. XXX, 1-6)

In pratica, il nostro poeta vuole indicare l'ora dell'alba, in cui le prime stelle cominciano ad offuscarsi, e lo fa a modo suo, affermando che a seimila miglia di distanza è l'ora sesta, cioè il mezzogiorno, e il cono d'ombra della Terra si proietta sul piano dell'orizzonte. Sarebbe come se noi affermassimo che "a New York sono le diciotto" a chi ci chiede l'ora in Italia, ma l'Alighieri ci ha abituato a queste incredibili indicazioni orarie e spaziali. Qui vorrei attirare l'attenzione su quelle famose "semilia miglia". Come afferma giustamente Natalino Sapegno, questo riferimento ci risulta assai incerto e vago, giacché il calcolo di una distanza temporale in rapporto a una distanza spaziale varia secondo la latitudine del luogo di osservazione, e a parità di ora secondo le stagioni. Tuttavia, se qui da noi albeggia, il luogo dove il sole culmina a mezzogiorno dovrebbe distare circa 90° di latitudine; le 6000 miglia potrebbero essere misurate sull'equatore, ed allora la circonferenza terrestre valutata da Dante risulterebbe di circa 24.000 miglia. Siccome il miglio toscano corrispondeva a 1653,61 metri, questo porta il meridiano terrestre ad una misura di circa 39.687 Km, molto vicina a quella che è la "reale" circonferenza terrestre. A complicare la questione, nel *Convivio* il nostro Poeta riporta una terza misura*: «Con ciò sia cosa che la terra per lo diametro suo sia semilia cinquecento miglia»* (Convivio IV, VIII, 7).
Questo valore, in accordo con quello fornito dall'astronomo persiano Alfragano, conduce ad un meridiano terrestre lungo circa 20.400 miglia, ovvero 33.734 Km, poco più dell'80% della misura reale. Ciò porta ad una contraddizione insanabile con la geografia descritta nel XXVII canto del Paradiso, a meno che Dante non ritenesse che Cadice e Gerusalemme distassero tra loro 7000 Km, cioè quasi il doppio di quanto non sia in realtà; il che appare quantomeno improbabile, dato che le coste del Mediterraneo erano



conosciute benissimo dai navigatori e dai commercianti del Trecento. Evidentemente le misure riportate dal *Convivio*, oltre ad essere in accordo con i dati osservativi dei più grandi astronomi arabi, presuppongono un'Asia assai più estesa in longitudine di quanto l'Alighieri non credesse, e una Gerusalemme non fisicamente al centro del vecchio mondo; perciò le misure ricavabili da quanto Dante dice di aver visto dall'alto della Costellazione dei Gemelli andranno considerate come l'ennesima licenza poetica del nostro autore.

Tornando alla vista dallo spazio di Dante, nel Canto XXII il nostro astronauta aveva potuto abbracciare con lo sguardo tutte le terre emerse, dal Gange alle Colonne d'Ercole, mentre nel canto XXVII può spingere lo sguardo ad ovest oltre Cadice, sull'Oceano Atlantico; ma verso est egli può vedere solo fino al litorale della Fenicia. Ecco dunque in figura come ora Dante vede il nostro pianeta, dove è segnato anche l'itinerario di Ulisse.

Ma quali sono stati i riferimenti di Dante per il suo viaggio nello "spazio"? Certamente le *Metamorfosi* di Ovidio, in cui è descritto il primo "volo spaziale" della cultura occidentale, quello di Dedalo e di suo figlio Icaro per fuggire dal labirinto di Cnosso, in cui l'adirato dio Minosse li aveva fatti rinchiudere (racconto citato nel XVII canto dell'Inferno). Parliamo di volo spaziale proprio grazie alle citazioni delle costellazioni di Boote e dell'Orsa Maggiore, e al fatto che Icaro si avvicina troppo al Sole, il quale con il suo calore scioglie la cera di cui sono fatte le sue ali, e lo sventurato precipita in mare. Dante conosceva benissimo il *Somnium Scipionis* di ***Cicerone*** (106-43 a.C.) che racconta di ***Cornelio Scipione Emiliano*** (185-129 a.C.), il distruttore di Cartagine, che si reca in visita in Africa presso l'amico Massinissa, re di Numidia e alleato di Roma, e trascorre tutta la serata con lui a rievocare la grandezza del nonno, ***Publio Cornelio Scipione Africano*** (235-183 a.C.), eroe ed effettivo vincitore della Seconda Guerra Punica. Ritiratosi per dormire, all'Emiliano compare in sogni proprio il famoso nonno, il quale gli descrive con dovizia di particolari la struttura dei cieli, che come in Dante rappresentano la dimora dei buoni e degli eroi dopo la loro morte. Tra le fonti di Dante che hanno compiuto una sorta di "viaggio spaziale" c'è anche ***San Paolo*** (8-67 d.C), assunto fino al Terzo Cielo, episodio narrato da lui stesso nella Seconda Lettera ai Corinzi: «*Conosco un uomo in Cristo che, quattordici anni fa - se con il corpo o fuori del corpo non lo so, lo sa Dio - fu rapito fino al terzo cielo. E so che quest'uomo - se con il corpo o senza corpo non lo so, lo sa Dio - fu rapito in paradiso e udì parole indicibili che non è lecito ad alcuno pronunziare*» (2 Corinzi 12, 2-4).

Se fino agli sessanta del XX secolo i viaggi interplanetari erano solo il frutto della fantasia di scrittori di fantascienza, negli ultimi decenni l'uomo è riuscito a realizzare, almeno in parte, il sogno di Icaro, e anche quello di Dante. Il 12 aprile 1961 Jurij Gagarin è il primo uomo a far ritorno vivo dopo aver compiuto un'orbita intorno alla Terra a bordo della capsula Vostok I. Nella notte tra il 20 e il 21 luglio 1969 gli astronauti statunitensi Armstrong e Aldrin, a bordo dell'Apollo 11, furono i primi uomini a mettere piede sulla Luna, coronando un sogno millenario. E la prossima impresa? Sicuramente Marte. Ma per il momento accontentiamoci di aver mandato sul pianeta rosso dei robot e di aver lanciato lo sguardo verso i confini dell'universo grazie al telescopio Hubble:

"fatti non foste a viver come bruti,
ma per seguir virtute e canoscenza! "
(Inf. XXVI, 118-120)

7. La geografia astronomica

Una delle materie più difficili trattate da Dante nel suo viaggio ultraterreno è certamente la geografia astronomica. Dante è consapevole di questa difficoltà, infatti, grazie al suo virtuosismo letterario, riuscirà a trasformare una fredda esposizione geometrica in un incomparabile sfoggio di poesia. Non è certo un caso se, nel II canto del Paradiso, il nostro poeta ha voluto ammonire i suoi lettori circa l'impossibilità di leggere il suo viaggio attraverso i cieli senza una notevole preparazione scientifica e dottrinale:

« O voi che siete in piccioletta barca,
desiderosi d'ascoltar, seguiti
dietro al mio legno che cantando varca,
tornate a riveder li vostri liti:
non vi mettete in pelago, ché forse,
perdendo me, rimarreste smarriti. »
(Par. II, 1-6)

Rappresentando la Divina Commedia la massima sintesi del Medioevo di filosofia, teologia e scienza, il nostro poeta fa largo uso della Geografia Astronomica, detta anche Astronomia Sferica, cioè del dettagliato studio della sfera celeste, con i suoi sistemi di circoli ed i suoi astri rotanti, per indicare l'ora o il momento dell'anno in cui avviene un certo incontro con questa o quell'altra anima.

Nei paragrafi precedenti abbiamo già riportato molte delle indicazioni astronomiche forniteci da Dante; ora vedremo come esse possono essere utilizzate per ricostruire una sorta di cronologia del viaggio dantesco.

Le indicazioni astronomiche servono anzitutto a Dante per indicare la data in cui prende le mosse il suo viaggio ultraterreno, anche se, come vedremo, esse conducono a conclusioni fortemente discordanti. Per la grande maggioranza dei commentatori, l'anno in cui il poeta colloca la sua incredibile avventura è il 1300, anno del primo giubileo della storia, indetto da Papa Bonifacio VIII, al quale Dante sicuramente prese parte. Più precisamente, il viaggio avrebbe luogo tra la fine di marzo e i primi giorni d'aprile. A questa conclusione portano numerose indicazioni di carattere non astronomico che si trovano in diversi passi del poema, che non trattiamo perché esulano dai nostri scopi, tranne la primissima terzina della Commedia che recita:

« Nel mezzo del cammin di nostra vita
mi ritrovai per una selva oscura
ché la diritta via era smarrita »
(Inf. I, 1-3)

Ed essendo Dante nato nel 1265, si arriva incontrovertibilmente all'anno 1300.

Ma, oltre ai riferimenti storici che confermano l'inizio del viaggio nell'anno 1300, Dante ci fornisce anche indicazioni astronomiche rigorose sulle posizioni del Sole, della Luna, di Venere, di Saturno, all'inizio e lungo le varie tappe del viaggio; posizioni che, confrontate con quelle ricavate dai calcoli astronomici, ci indicano date ben diverse da quelle dedotte dai fatti storici. Esaminiamole brevemente una ad una.

1) Il Sole in Ariete. La posizione del Sole in questo segno, di poco successiva all'equinozio di primavera, è indicata già nel primo canto dell'Inferno:

« Temp'era dal principio del mattino,
e 'l sol montava 'n sù con quelle stelle

ch'eran con lui quando l'amor divino
mosse di prima quelle cose belle »
(Inf. I, 37-40)

Era opinione comune che, al momento della creazione, quanto Dio impresse per la prima volta ai cieli il loro movimento, il Sole fosse congiunto con la costellazione dell'Ariete, come ad indicare che l'universo fosse iniziato nella stagione primaverile. Il concetto è poi ribadito nel quarto canto del Purgatorio, versi da noi già analizzati in quel che precede:

« Se Castore e Poluce
fossero in compagnia di quello specchio
che sù e giù del suo lume conduce,
tu vedresti il Zodïaco rubecchio
ancora a l'Orse più stretto rotare,
se non uscisse fuor del cammin vecchio »
(Purg. IV, 61-66)

Da questi versi si evince chiaramente la distanza temporale dal solstizio d'estate, il quale ha luogo quando il Sole si trova nella Costellazione dei Gemelli.

2) Il viaggio ha inizio in un plenilunio. L'indicazione della coincidenza dell'inizio del viaggio con una Luna piena è fornita da Virgilio nella quarta bolgia, quella degli Indovini:

« E già iernotte fu la luna tonda;
Ben ten dee ricordar, chè non ti nocque
Alcuna volta per la selva fonda. »
(Inf. XX, 126-128)

Dall'esame delle longitudini del Sole e della Luna risulta che il plenilunio del marzo 1300 si verificò il 5 alle 22.00.16 di Greenwich, mentre quello di aprile cadde il 4 alle 13.52.51. Da notare che invece il plenilunio del marzo 1301 si verificò il 24 alle 18.16.35. Questo fatto ha portato alcuni a postdatare di un anno il viaggio dantesco rispetto alla cronologia comunemente accettata, spostandolo al 25 marzo 1301. Questa ipotesi, però, farebbe crollare tutte le considerazioni di rinnovamento spirituale che l'anno giubilare porta con sé, per non parlare di tutti i riferimenti storici, seppur non menzionati.

3) La posizione mattutina di Venere nei Pesci. All'inizio dell'ascesa alla montagna del Purgatorio Dante sottolinea la posizione di Venere nei ben noti versi:

« Lo bel pianeto che d' amar conforta
Faceva tutto rider l'oriente,
Velando i Pesci ch'erano in sua scorta. »
(Purg. I, 19-21)

Un'altra indicazione sulla posizione di Venere è fornita alla fine del terzo giorno della salita al monte, quando Dante si addormenta e gli appare in sogno la bellissima Lia:

« Nell'ora, credo, che dall'oriente
prima raggiò nel monte Citerea,
che di fuoco d'amor par sempre ardente,

giovane e bella in sogno mi parea
donna veder andar per una landa
cogliendo fiori... »
(Purg. XXVII, 95-100)

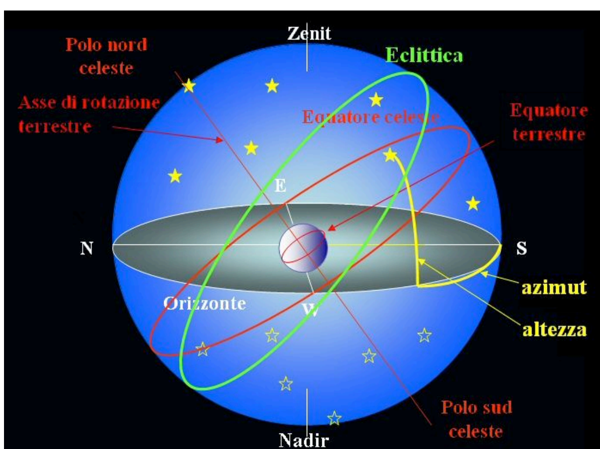
Alcuni commentatori sostengono che Venere si trovò a sorgere verso le tre del mattino e a trovarsi nei Pesci a precedere il sorgere del Sole nell'Ariete proprio a fine marzo 1301, mentre negli stessi giorni del 1300 Venere era a levante del Sole, nella costellazione del Toro, ed era visibile di sera. Dante cioè ha idealmente fatto iniziare il suo viaggio nel giorno dell'equinozio, dandoci quindi un'indicazione astronomica realistica ma non indicativa del giorno preciso: a favore di questa ipotesi si è schierata gran parte della critica contemporanea, che sostiene che Dante nella Commedia sia principalmente un poeta e non un astronomo.

4) La posizione di Saturno nel Leone. Come si ricorderà, parlando di Saturno abbiamo detto che il poeta parla di una congiunzione di tale pianeta con la costellazione del Leone:

« Noi sem levati al settimo splendore,
Che sotto il petto del Leone ardente
Raggia mo misto giù del suo valore. »
(Par. XXI, 13-15)

L'indicazione "sotto il petto" si addice stavolta anche al marzo 1300, poiché a quell'epoca Saturno si trovava non lontano dalla stella Regolo, che Tolomeo chiamava "Cor Leonis". Il problema apparirebbe dunque insolubile: i fatti storici nominati da Dante con grande precisione ci riportano al marzo o al massimo all'aprile 1300, mentre il plenilunio e la posizione di Venere ci riportano al marzo 1301. Ora, non è assolutamente accettabile parlare di un Dante del tutto ignorante di astronomia, che ha dovuto fare affidamento ai calcoli (sbagliati) di altri, viste le precisissime conoscenze di questa scienza che egli dissemina nella Commedia. Si consideri a titolo di esempio la seguente terzina:

« Quant'è dal punto che 'l cenìt inlibra
infin che l'uno e l'altro da quel cinto,
cambiando l'emisperio, si dilibra... »
(Par. XXIX, 4-6)



Effettivamente, ad una prima lettura sembra assolutamente incomprensibile. Proviamo a sviscerarla insieme: essa ha come soggetto « ambedue li figli di Latona », cioè il Sole e la Luna. Lo Zenit, chiamato "cenìt" da Dante, è l'intersezione della perpendicolare al piano dell'orizzonte passante per l'osservatore, con l'emisfero celeste visibile, e quindi rappresenta il punto della volta celeste che si trova esattamente sopra la testa dell'osservatore. Il punto diametralmente opposto, che si trova sotto i piedi dell'osservatore, è detto Nadir. In pratica, Zenit e Nadir sono i poli dell'orizzonte per ciascun osservatore. La complessa terzina

sopra riportata va dunque letta così: allorché il Sole e la Luna vengono a trovarsi contemporaneamente sulla linea dell'orizzonte in due punti opposti del cielo, dal momento ("punto") in cui essi sono in condizione di perfetto equilibrio rispetto allo Zenit, e cioè equidistanti da esso come i piatti di una bilancia ("'l cenìt inlibra"), fino al momento in cui si staccano dall'orizzonte, uno tramontando ed uno sorgendo, per discendere l'uno dall'emisfero boreale all'australe e l'altro dall'australe al boreale, corre tanto tempo quanto Beatrice sostò in silenzio, eccetera. Il "si dilibra" va inteso dunque come "si scioglie da quella zona", cioè "esce dalla linea dell'orizzonte". Come si vede, Dante ama le lunghe e complicate perifrasi astronomiche per dare l'idea dell'ora del giorno in cui si trova, o della sua posizione, o della durata di un determinato evento, come in questo caso: un gusto schiettamente medievale che il nostro poeta sposa ben volentieri. Un poeta che elabora terzine come queste vi sembra forse ignorante di astronomia?

D'altro canto, se é vero che dei moti planetari e delle posizioni stellari il nostro poeta era tutt'altro che digiuno, è senz'altro da respingere l'opinione secondo cui ci si potrebbe basare unicamente sulla posizione di due o tre pianeti per datare il viaggio di Dante, in quanto la complessità dalla Commedia va ben oltre qualunque interpretazione banalmente astrologica. Ma allora, esiste un modo per uscire da questa empasse? Una questione da cui non si può prescindere se si vuole risolvere il problema della datazione del viaggio di Dante riguarda i calendari che erano in uso nel Medioevo, e soprattutto il calendario usato da Dante per datare il suo viaggio nell'oltretomba. Noi oggi siamo abituati ad avere un unico calendario, quello Gregoriano, introdotto il 4 ottobre 1582 da ***Papa Gregorio XIII*** (1572-1585), ma nel XIII secolo ogni comune aveva una sua propria tradizione di calendario, che si basava su presupposti molto diversi da quelli delle città vicine. Innanzitutto nel Medioevo era generalmente riconosciuto il calendario giuliano, cioè quello introdotto da Giulio Cesare nel 46 a.C. per evitare lo sfasamento tra le festività civili e religiose ed il ciclo stagionale. Il periodo che impiega il Sole per ritornare all'equinozio di primavera, detto Anno Tropico, ha una durata di $365^{giorni}5^{h}48'46''$. L'astronomo egiziano Sosigene (I sec. a.C.), consultato da Giulio Cesare, fissò la durata dell'anno in 365 giorni e 6 ore; Cesare decise perciò di computare gli anni di 365 giorni, ma di recuperare le sei ore tralasciate ogni quattro anni, quando si aggiungeva un giorno (6 ore all'anno danno vita in quattro anni a 24 ore, cioè un giorno esatto). Questo giorno in più, giorno bisestile, veniva aggiunto dopo il 24 febbraio. Sfortunatamente però il giorno aggiuntivo non bastava per arrivare alla durata esatta dell'Anno Tropico, del quale l'anno giuliano era più lungo di circa 12 minuti. Questi 12 minuti in cinque anni diventano un'ora, in 120 anni un giorno e in 1200 anni 10 giorni. Se ne conclude che al tempo di Dante l'anno civile era rimasto indietro di circa otto giorni sull'Anno Tropico, e questo significa che il primo giorno di primavera, nonché primo giorno dell'anno astronomico, anziché il 21 marzo cadeva il 13: il 21 marzo era un equinozio puramente convenzionale. Dante era certamente al corrente di questa inesattezza del calendario giuliano, in quanto nel Paradiso scrive:

« Ma prima che gennaio tutto si sverni
per la centesma ch'è là giù negletta »
(Par. XXVII, 142-143)

"Centesma" indica chiaramente la centesima parte del giorno che viene trascurata ("negletta"), e che col passare dei millenni finirà per far uscire il mese di gennaio dall'inverno. Infatti, se gli uomini avessero continuato ad utilizzare il calendario giuliano a tempo indeterminato, prima o poi l'equinozio di primavera sarebbe arretrato così tanto da

giungere in dicembre, e da far diventare gennaio un mese primaverile: il calcolo impostato poco fa ci dice che l'equinozio di primavera sarebbe caduto il 21 dicembre (cioè in quello che per noi è il solstizio d'inverno) quando la differenza tra il calendario giuliano e quello astronomico fosse diventata di 90 giorni, il che sarebbe avvenuto intorno all'anno 10.800 d.C. (giustamente considerato da Dante un periodo lunghissimo oltre ogni misura umana). Al tempo di Papa Gregorio XIII la differenza tra equinozio convenzionale ed equinozio reale era di dieci giorni, per cui egli decise di sopprimere questi dieci giorni in più, ordinando che al 4 ottobre 1582 seguisse immediatamente il 15 ottobre 1582. Siccome ogni 480 anni, come detto, si accumulano 4 giorni, dietro consiglio dello scienziato gesuita tedesco ***Cristoforo Clavio*** (1538-1612), per evitare che l'inconveniente si ripetesse egli stabilì che gli anni secolari sarebbero stati bisestili solo se divisibili per 400: in tal modo furono bisestili il 1600 e il 2000, ma non il 1700, il 1800 e il 1900, né lo sarà il 2100. Insomma, ogni 400 anni non vi saranno più 100 bisestili, ma solo 97, in modo da evitare lo sfasamento delle stagioni. Le chiese ortodosse russa, serba e di Gerusalemme continuano tuttora a seguire il calendario giuliano, e da ciò nasce l'attuale differenza di 13 giorni tra le festività religiose ortodosse e quelle delle altre confessioni cristiane.

Tornando al nostro discorso, il calendario adottato da Bonifacio VIII per datare il primo giubileo faceva incominciare l'anno il 1 Gennaio, ed incominciava a contare gli anni dal 1 a.C. A Pisa all'epoca era in vigore un calendario molto simile a questo, che però faceva cominciare l'anno il 25 marzo, poiché in questa data era stato fissato l'equinozio. A Firenze, come già accennato sopra, l'anno cominciava parimenti il 25 marzo, ma non dello stesso anno fissato a Roma, bensì dell'anno dopo. Ricordiamo che nel calendario civile l'anno zero non esiste, e al 1 a.C. segue immediatamente l'1 d.C.; solo in seguito gli astronomi introdussero nei loro calcoli l'anno 0. Noi oggi siamo in grado di affermare con certezza che a Firenze era in vigore un calendario diverso da quello comunemente adottato dalla chiesa grazie ad una legge promulgata nel 1749 dal Granduca Francesco Stefano di Lorena (1708-1765), il cui scopo era l'adeguamento del calendario toscano a quello ecclesiastico. A Firenze la diversità non era solo nel principio dell'anno, ma nell'anno stesso. Tra Firenze e Pisa insomma c'era un anno di differenza: a Firenze era il 1749 quando a Roma era già il 1750. Tornando all'epoca di Dante, quando a Roma sorse l'alba del 1 gennaio 1300, a Firenze era ancora il 1 gennaio 1299 (tra l'altro Papa Bonifacio VIII indisse il giubileo il 22 febbraio 1300, ma gli diede valore retroattivo a partire dal 25 dicembre 1299). Il papa era certamente al corrente delle diversità di calendari esistente in quegli anni nelle varie città italiane, e si preoccupò di precisare che il calendario del giubileo avrebbe dovuto seguire il calendario da lui adottato, piuttosto che quello in vigore a Pisa e a Firenze, come si può leggere nella stessa bolla papale con cui si indice il giubileo. Da qui l'ipotesi, avanzata da taluni, che Dante avrebbe compiuto il suo grande pellegrinaggio oltremondano (rispetto al quale anche quello giubilare sarebbe passato assolutamente in secondo piano) nell'anno 1301 secondo il calendario romano, in modo da farlo coincidere con il 1300 del calendario fiorentino. Comunque, il problema dell'incongruenza tra dati storici e riferimenti astronomici resta per ora insolubile.

Questo però non è l'unico enigma che Dante ha consegnato ai propri lettori, utilizzando la geografia astronomica per fornire loro le proprie coordinate spaziotemporali. Uno dei passi più controversi di tutta la Divina Commedia riguarda proprio un riferimento astronomico, e lo ritroviamo all'inizio dell'ascesa di Dante al Paradiso. Rileggiamolo insieme:

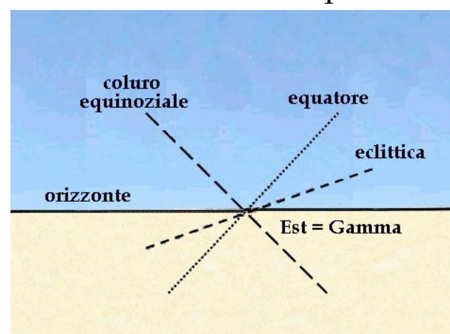
« Surge ai mortali per diverse foci
la lucerna del mondo; ma da quella

che quattro cerchi giugne con tre croci,
con miglior corso e con migliore stella
esce congiunta, e la mondana cera
più a suo modo tempera e suggella. »
(Par. I, 37-42)

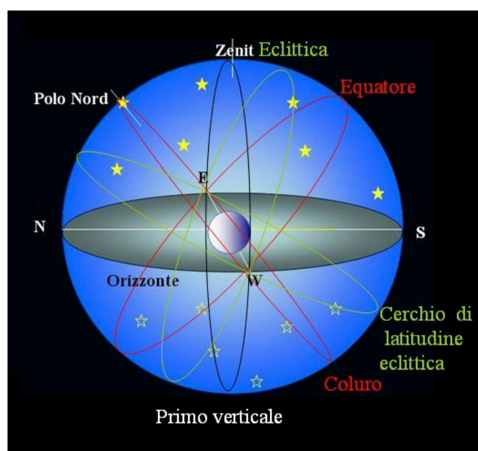
Il poeta chiama "foci" i diversi punti dell'orizzonte dai quali il Sole sorge nel corso dell'anno. Il senso letterale comunemente dato a questi versi è dunque il seguente: la lucerna del mondo (cioè il Sole) sorge ai mortali attraverso diversi sbocchi; ma esce unita a miglior corso e a migliore stella - e tempra e modella più a sua immagine la materia del mondo - da quello sbocco che congiunge quattro cerchi formando tre croci.

Tutti concordano sul fatto che Dante vuole indicare i particolari aspetti astronomici dell'equinozio di primavera: il Sole sorge esattamente dal punto est dell'orizzonte; il suo corso è detto "migliore" perché, essendo sull'equatore, è il più simmetrico rispetto ai poli celesti e risulta in perfetto equilibrio fra il giorno e la notte per tutti gli abitanti della Terra; con l'inizio della primavera si ha il risveglio della natura nell'emisfero nord terrestre, l'unico considerato abitato al tempo di Dante; il Sole si trova in congiunzione con l'Ariete, come per tradizione si riteneva fosse stato al momento della creazione del mondo (e appunto tale potenza creativa tornava puntualmente alla natura a primavera, cioè in tale periodo il Sole disponeva meglio alla sua opera fecondatrice la materia del mondo). Non è facile invece individuare, tra le scelte possibili, i quattro cerchi e le tre croci di cui ci parla il nostro poeta. Secondo la versione tradizionalmente accettata, i quattro cerchi sono:

1. l'orizzonte: è la circonferenza ottenuta dall'intersezione della sfera celeste con un piano tangente alla superficie terrestre nel punto dove è situato l'osservatore. Ovviamente, esso è diverso per ogni punto della superficie terrestre.
2. l'eclittica: è la circonferenza ottenuta dall'intersezione della sfera celeste con il piano dell'orbita terrestre, e coincide con il cammino apparente che il Sole traccia nel cielo nel corso dell'anno. Il suo nome deriva dal fatto che le eclissi di Sole avvengono solo su di essa. Poiché l'asse di rotazione della Terra non è perpendicolare al suo piano orbitale, il piano equatoriale non è parallelo al piano dell'eclittica, ma forma con esso un angolo di circa 23°27'. Gli otto pianeti del sistema solare ruotano in piani che distano al massimo di pochi gradi dall'eclittica.
3. l'equatore: è la circonferenza ottenuta dall'intersezione della superficie della Terra con un piano perpendicolare all'asse di rotazione terrestre e passante per il suo centro. Le intersezioni dell'equatore con l'eclittica prendono il nome di punti equinoziali. Essi sono il Punto d'Ariete o Punto Gamma (dal simbolo simile a γ che contraddistingue la costellazione dell'Ariete) e il Punto della Bilancia o Punto Omega (dal simbolo simile ad Ω che contraddistingue tale costellazione nello zodiaco). Quando il Sole, nel suo apparente moto annuo, transita per il Punto d'Ariete, "risale" dall'emisfero celeste australe a quello boreale e si ha l'equinozio di primavera; quando transita per il Punto della Bilancia, "ridiscende" dall'emisfero boreale a quello australe, e si ha l'equinozio di autunno.
4. il coluro equinoziale: è il meridiano della volta celeste che passa per i poli celesti e per i punti equinoziali. Nel sistema delle coordinate celesti, è il meridiano fondamentale dal quale si misura l'ascensione retta di un punto della volta celeste: il coluro equinoziale ha ascensione retta pari a 0.



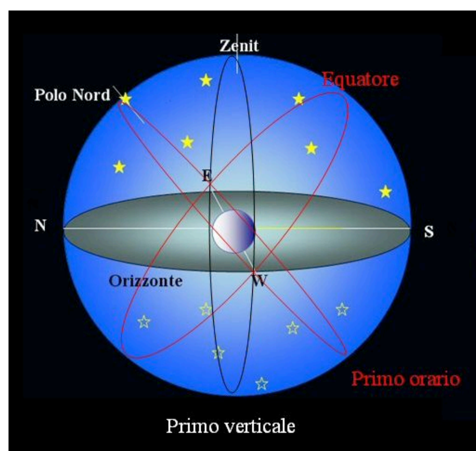
Tuttavia, a causa del movimento di precessione degli equinozi, esso non è fisso ma si sposta verso ovest di circa 50 secondi d'arco l'anno, ed è necessario tenere conto di tali spostamenti nelle determinazioni delle ascensioni rette dei corpi celesti.



Sempre secondo la tradizione, le tre croci sarebbero formate nel punto cardinale di Levante al momento del sorgere del Sole dall'orizzonte con equatore, eclittica e coluro. Ma non tutti gli astronomi moderni sono soddisfatti di questa interpretazione, dato che nessuna delle croci ha i bracci perpendicolari tra di loro, e quindi si dovrebbe parlare di "incroci", non di croci; inoltre, appare arbitraria la scelta di queste tre croci tra le sei possibili che si ottengono combinando i quattro cerchi a due a due.

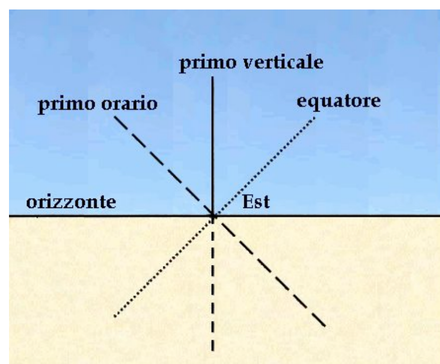
L'astronomo ***Filippo Angelitti*** (1856-1931) propose invece di utilizzare quattro cerchi tutti solidali con la sfera celeste, sostituendo l'orizzonte con il cerchio di latitudine, cioè il cerchio passante per i poli dell'eclittica e per i punti equinoziali. In questo modo ottenne due vere croci a bracci perpendicolari: quella formata dall'equatore con il coluro, e quella formata dall'eclittica con il cerchio di latitudine. E la terza? Egli pensò a quella formata dai fusi sferici ampi 23°27' definiti dai quattro cerchi: ma pure questa era una "vera" croce a bracci perpendicolari.

Un altro studioso, ***Ideale Capasso***, nel suo volume *L'Astronomia nella Divina Commedia*, scelse invece quattro cerchi fissi rispetto all'osservatore, e che quindi si incontrano sempre nel punto di Levante: orizzonte, equatore, primo verticale e primo orario. Il primo verticale è il cerchio passante per il Punto Cardinale Est, il Punto Cardinale Ovest, lo Zenit e il Nadir, che ovviamente cambiano tutti da osservatore a osservatore; il primo orario è invece il cerchio passante per il Punto Cardinale Est, il Punto Cardinale Ovest i poli celesti Nord e Sud. Questi ultimi due cerchi non sono fondamentali come i primi due, e non sono quindi altrettanto conosciuti, ma erano usati spesso al tempo di Dante per i computo rispettivamente degli azimut e del tempo. Una possibilità suggerita da Capasso è che Dante attribuisca al punto Est il compito di "giugnere" i quattro cerchi, compito che in realtà compete al diametro congiungente i Punti Cardinali Est-Ovest, usando un punto estremo per tutto il diametro. Il diametro Est-Ovest considerato, e appartenente al piano dell'orizzonte, forma una croce con l'asse dei poli celesti giacente sul piano del primo orario, un'altra con l'asse Zenit-Nadir giacente sul piano del primo verticale, e una terza con la "linea dei mezzi cieli" comune al piano dell'equatore e al piano del meridiano. Tutte queste croci sono vere croci, ma non sono sulla sfera, e questo non appare accordarsi bene con il quadro astronomico in discussione.



L'esperto di geografia astronomica Davide Conigliaro ha perciò proposto tutt'altra interpretazione. Egli ragionò così: visto che si parla di Est e di equinozio, si dovevano considerare e mettere in relazione tra loro tutti i cerchi che passano per il punto Est dell'orizzonte e quelli per il Punto Gamma dell'equatore celeste. Secondo lui sarebbe

necessaria una pausa dopo la parola "giugne", separando il problema dei quattro cerchi da quello delle tre croci. Secondo la sua opinione, insomma, Dante intendeva dire: *«la lucerna del mondo sorge ai mortali attraverso diversi sbocchi; ma esce unita a tre croci, a miglior corso e a migliore stella - e tempra e modella più a sua immagine la materia del mondo - da quello sbocco che congiunge quattro cerchi.»* A questo punto, anche secondo Conigliaro i quattro cerchi congiunti dal punto Est sono quelli scelti da Capasso: orizzonte, equatore, primo verticale e primo orario. Diverse sono invece le tre croci. Per l'osservatore esistono sempre due croci nel punto Est, l'una formata dall'orizzonte con il primo verticale, e l'altra dall'equatore con il primo orario. Egli le chiama per semplicità "croci immobili", in quanto non partecipano alla rotazione apparente del cielo. Considera poi le due croci formate dai quattro cerchi scelti dall'Angelitti: esse partecipano alla rotazione apparente del cielo e i loro centri coincidono con il Punto Gamma. Tutti i giorni il punto Gamma percorre in cielo quella stessa via che percorre il Sole il giorno dell'equinozio, e al punto Gamma si possono pensare unite due croci: una formata dall'equatore con il coluro degli equinozi, l'altra dall'eclittica con il cerchio di latitudine. Egli le chiamare per semplicità "croci mobili". Quando il punto Gamma è alto nel cielo, tutti i bracci di queste croci sono visibili, a differenza delle "croci immobili" che stanno sempre per metà sotto l'orizzonte. Mettendo insieme il tutto, Conigliaro considera l'istante in cui il moto apparente del cielo porta il Punto Gamma a sorgere dal Punto Cardinale Est (istante che anticipa di circa quattro minuti ogni giorno). In quel momento le due croci mobili sono unite alle due croci ferme, dato che i centri sono sovrapposti: ma l'osservatore vede tre croci e non quattro, perché in quell'istante la croce formata da equatore e primo orario è esattamente sovrapposta a quella formata da equatore e coluro. Anche se questo evento si ripete ogni giorno, esso diventa importante e significativo solo all'equinozio di primavera, quando nel punto Gamma si trova il Sole, perché allora l'astro sorge "congiunto" con tre croci, come afferma Dante.



Tutte considerazioni sensate e condivisibili, quelle degli esperti che abbiamo citato; ma quale di esse Dante aveva in testa, quando scrisse quei versi? Impossibile dare una risposta certa a questa domanda. Solo su una cosa quasi tutti i commentatori sono d'accordo: i quattro cerchi rappresentano le quattro virtù cardinali (Prudenza, Giustizia, Fortezza, Temperanza), le tre croci rappresentano invece le tre virtù teologali (Fede, Speranza, Carità), congiunte e cooperanti per la salvezza dell'anima umana.

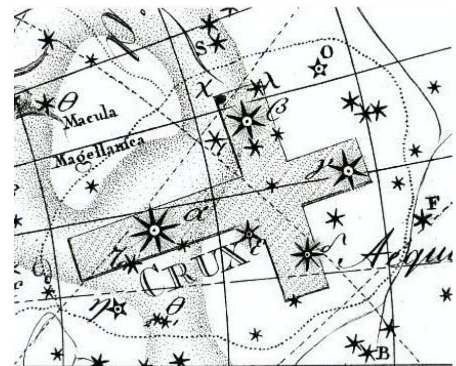
Un terzo problema astronomico che vogliamo affrontare riguarda le stelle dell'emisfero australe. Quando Ulisse, dannato con Diomede nella bolgia dei Consiglieri Fraudolenti, racconta a Dante del suo ultimo viaggio verso l'ignoto, afferma tra l'altro:

« E volta nostra poppa nel mattino,
de' remi facemmo ali al folle volo,
sempre acquistando dal lato mancino.
Tutte le stelle già de l'altro polo
vedea la notte, e 'l nostro tanto basso,
che non surgëa fuor del marin suolo. »
(Inf. XXVI, 126-131)

L'eroe omerico, dopo il discorso nel quale sprona i suoi marinai a *«seguir virtute e canoscenza»* (Inf. XXVI, 120) volge la poppa "verso il mattino", cioè verso il levante, e

quindi la prua verso occidente, e dà inizio all'incredibile viaggio di esplorazione dell'emisfero oceanico, in palese violazione dei termini posti da Dio all'uomo (Ercole aveva fissato le sue colonne *«acciò che l'uom più oltre non si metta»* (Inf. XXVI, 109). La notte già vede tutte le stelle dell'altro polo, cioè del Polo Antartico, mentre la stella Polare è ormai così bassa da non vederla più sopra l'orizzonte marino; Ulisse ha ormai superato la linea dell'equatore. Come andrà a finire lo sappiamo tutti: dopo cinque lunazioni dalla partenza, Ulisse e i suoi uomini vedono spuntare *«una montagna, bruna /per la distanza, e parvemi alta tanto/quanto veduta non avëa alcuna»* (Inf. XXVI, 133-135). È la Montagna del Purgatorio. Ma la sua impresa non è di quelle a cui basta il soccorso della ragione umana: per portarla a compimento è necessaria la grazia divina, a lui vietata. E così un tornado, scaturito dalla montagna, fa naufragare la nave e trascina in fondo al mare tutti i suoi occupanti. Ma all'impresa fallita dall'eroe pagano, alla sconfitta della ragione abbandonata alle sue sole forze, Dante vuole contrapporre la sua impresa, felicemente condotta a termine proprio grazie all'assistenza del cielo. L'Alighieri giungerà infatti alla montagna del Purgatorio, la scalerà, e vedrà le stelle dell'altro polo. Subito, infatti, egli le descrive al momento dell'uscita dal "cammino ascoso" che lo ha portato fuori dalla "valle inferna":

« I' mi volsi a man destra, e puosi mente
a l'altro polo, e vidi quattro stelle
non viste mai fuor ch'a la prima gente. »
(Purg. I, 22-24)



Notiamo l'esattezza di quel volgersi a destra, al polo sud, per osservare le misteriose quattro stelle. Niente di strano in questa spettacolosa visione, se non fosse per il fatto che, non lontano dal polo sud celeste, quattro stelle abbastanza luminose ci sono davvero: si tratta della Croce del Sud. Il problema è che quelle stelle sono interamente visibili nel nostro emisfero solo dal 27° parallelo nord in giù, ossia dalle isole Canarie o dall'estremità meridionale della penisola del Sinai. Senz'altro i marinai arabi le conoscevano, dato che essi nel Medioevo navigarono a lungo nell'Oceano Indiano e lungo le coste orientali dell'Africa, ma le prime notizie di questa costellazione furono portate in Europa dal navigatore fiorentino ***Andrea Corsali*** nel 1518, il quale la definì *«così leggiadra che nessun altro segno celeste può esserle paragonato»*, e dal suo collega vicentino *Antonio Pigafetta* (1492-1531), che dal 1519 al 1522 accompagnò Magellano nella prima circumnavigazione del globo. Le prime rappresentazioni cartografiche europee sono ancora più tarde. Prima di allora non si conoscono in Europa descrizioni di questo asterismo. È possibile che Dante ne fosse al corrente? Fiumi di inchiostro sono stati versati a questo proposito, nella speranza di trovare una spiegazione ragionevole a questo enigma. In questa sede ci limiteremo a riassumere alcune versioni.

Attraverso considerazioni di carattere astronomico, per vedere la Croce del Sud è sufficiente trovarsi nell'Alto Egitto, lungo la valle del Nilo. Pertanto, Tolomeo elenca le sue stelle nel suo catalogo tra le stelle del Centauro; essa sarebbe identificabile, inoltre, nella costellazione chiamata Trono di Cesare, che Plinio descrive come non più visibile dall'Italia, ma ancora visibile dall'Egitto. I cataloghi stellari arabi e le Tavole Alfonsine (compilate a Toledo intorno al 1252 per conto di re Alfonso X di Castiglia e

León) le riportavano chiaramente, ed i mercanti veneziani e genovesi che nel Medioevo frequentavano il porto di Alessandria, dovevano conoscere la Croce, forse non solo per sentito dire, se l'avevano vista risalendo il Nilo per motivi di commercio. E forse la videro, o perlomeno ne ebbero notizia, i guerrieri che avevano partecipato alla Quinta Crociata (1217-21) e alla Sesta Crociata (1248-54), dato che entrambe le spedizioni si rivolsero contro l'Egitto. Se si aggiungono poi eventuali mappe celesti dei naviganti arabi, si vede bene che lo occasioni per conoscere la Croce Australe a Dante non mancavano di certo. Tuttavia, se vogliamo esplorare la possibilità che le quattro stelle viste da Dante siano state ispirate davvero dalla Croce del Sud, bisogna tenere conto di un fatto essenziale. Tale asterismo era sì noto agli astronomi antichi, ma come parte della costellazione del Centauro, dalla quale è attorniata su tre lati; come costellazione autonoma pare che essa sia nata solamente nel 1589, quando per la prima volta la Croce del Sud è stata riportata sul globo terrestre.

Bisogna poi tenere conto dell'enigma costituito dal verso 24: «*non viste mai fuor ch'a la prima gente*». Chi è questa "prima gente"? Tutti i commentatori antichi e molti tra i moderni sono d'accordo: essi sono Adamo ed Eva. Dopo che i leggendari progenitori furono cacciati dall'Eden, posto come sappiamo in cima al Purgatorio e quindi nell'emisfero australe, nessuno vide più quelle stelle con occhi mortali. Del resto, dal punto di vista allegorico, appare evidente come la luce delle quattro virtù dovesse risplendere più fulgida e piena all'umanità innocente del Paradiso Terrestre. Non a caso, immediatamente dopo l'Alighieri si affretta a deplorare quanti guai abbia causato all'umanità, costretta ad abitare nell'emisfero boreale e lontano da quelle «*quattro luci sante*» (Purg. I, 37), l'assenza del conforto delle virtù cardinali:

« *Goder pareva 'l ciel di lor fiammelle:*
oh settentrïonal vedovo sito,
poi che privato se' di mirar quelle! »
(Purg. I, 25-27)

Vi è però un'altra possibile spiegazione: se teniamo conto della precessione degli equinozi, l'umanità primitiva avrebbe potuto godere delle "fiammelle" allorché esse erano visibili anche a latitudini più settentrionali. Dunque "la prima gente" sarebbero i nostri lontani antenati vissuti migliaia di anni fa. Senza dubbio è un'ipotesi intrigante, che rende più probabile l'identificazione delle quattro luci con le stelle α, β, γ e δ della Croce del Sud. In questo caso, per salvare il senso allegorico dell'invenzione dantesca (che non può mai passare in secondo piano, in un poema che per antonomasia è allegorico e didascalico) bisogna far coincidere quei nostri antenati con gli uomini dell'età dell'oro, prima della corruzione che portò al diluvio universale. Tutto ciò, naturalmente, in contrapposizione agli eredi di quei virtuosi abitanti delle prime ere del mondo, cioè a noi stessi, contro i quali Dante scaglia un'invettiva tutt'altro che rassicurante:

« *Lo mondo è ben così tutto diserto*
d'ogne virtute, come tu mi sone,
e di malizia gravido e coverto »
(Purg. XVI, 58-60)

Ed ecco un altro argomento contro l'identificazione delle quattro stelle con la Croce del Sud come oggi lo conosciamo: come si è detto, per vedere la Croce del Sud non è necessario spostarsi nell'emisfero australe. Basta raggiungere latitudini abbastanza basse, quali erano certamente incluse nei mappamondi del tempo di Dante. Il nostro poeta ad

esempio nomina, nel *Convivio*, ripetutamente i Garamanti, popolo che controllava le antiche vie carovaniere attraverso il deserto del Sahara, come esempio di abitatori delle regioni equatoriali. Ma allora, le quattro stelle non erano state viste solo "dalla prima gente": anche questi popoli che vivevano in regioni equatoriali potevano scorgerle benissimo. Alla latitudine di zero gradi, infatti, un osservatore può vedere le stelle di tutto il cielo, giacché i Poli Nord e Sud si trovano esattamente sull'orizzonte. Da lì è possibile vedere sia la Polare che la Croce del Sud, e dunque questa vista non era riservata ai fortunati uomini dell'età dell'oro. Ed anche Ulisse ed i suoi uomini devono averle viste benissimo, quando penetrarono nel «*mondo sanza gente*» (Inf. XXVI, 117).

E non è tutto. Infatti nel Canto VIII del Purgatorio, quando l'Alighieri si trova nella Valletta dei Principi, leggiamo:

« Li occhi miei ghiotti andavan pur al cielo,
pur là dove le stelle son più tarde,
sì come rota più presso a lo stelo.
E 'l duca mio: "Figliuol, che là sù guarde?"
E io a lui: "A quelle tre facelle
di che 'l polo di qua tutto quanto arde."
Ond'elli a me: «Le quattro chiare stelle
che vedevi staman, son di là basse,
e queste son salite ov'eran quelle»
(Purg. VIII, 85-93)

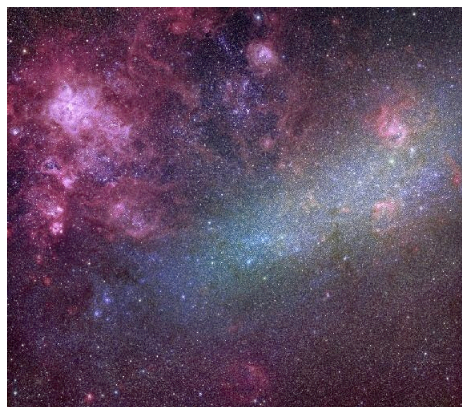


Dunque, le quattro stelle sono scese verso l'orizzonte dall'altra parte della montagna, e quindi non sono più visibili, ma sono state rimpiazzate da altre tre "facelle" altrettanto luminose. Anche in questo caso, tutti sono concordi sul significato allegorico di questo nuovo asterismo: rappresentano le tre virtù teologali, così come le stelle vedute al mattino rappresentavano le quattro virtù cardinali. Queste ultime, particolarmente finalizzate alla vita attiva, gli appaiono la mattina, quando inizia la giornata lavorativa, mentre gli altri tre astri gli appaiono di sera, perchè la notte predomina la vita contemplativa. D'altro canto, le tre stelle appaiono immediatamente prima dell'attacco da parte del serpente, messo poi in fuga dagli angeli, ed allora diventa urgente la necessità del soccorso da parte delle virtù soprannaturali. Ora, nel Cielo Australe esiste anche una costellazione a forma di triangolo. Si tratta infatti del Triangolo Australe, una piccola ma appariscente costellazione le cui tre stelle più brillanti sono disposte a formare un triangolo pressoché equilatero. Anch'essa, come la Croce del Sud, si trova sul bordo meridionale della Via Lattea, ed è facile individuarla grazie alla presenza a nordovest della brillantissima α Centauri, e, sempre per ragioni di geografia astronomica, tale triangolo australe non era ignoto nel Medioevo.

Invece l'astronomo napoletano ***Ernesto Capocci di Belmonte*** (1798-1864), direttore dell'osservatorio di Capodimonte, nel suo scritto *Illustrazioni astronomiche della Divina Commedia*, avanza un'ipotesi completamente diversa sulle "tre facelle". La prima di esse sarebbe la luminosissima α Eridani, una stella stella bianco-azzurra di magnitudine 0,50 e distante circa 144 anni luce dalla Terra; pur essendo la nona stella più brillante del cielo, essa è così meridionale da risultare invisibile dall'Europa, ed infatti non è menzionata neppure da Tolomeo. E le altre due "facelle"? Esse sarebbero le Nubi di Magellano, due piccole galassie che orbitano attorno alla Via Lattea, visibili ad occhio nudo nel cielo

notturno dell'emisfero sud. La Grande Nube di Magellano dista da noi circa 157.000 anni luce, mentre la Piccola Nube di Magellano si trova a poco più di 200 000 anni-luce. Entrambe le galassie sono collegate fra loro e con la Via Lattea da un lungo ponte di stelle, noto come Corrente Magellanica, formatosi a causa delle intense forze mareali tra la nostra Galassia e le sue galassie satelliti. Secondo Capocci di Belmonte, esse sarebbero vicine al meridiano superiore quando le stelle della Croce sono prossime al meridiano inferiore, e quindi occuperebbero l'esatta regione di cielo indicata da Dante nel Canto VIII del Purgatorio. La stessa parola "facelle", usata in luogo di "stelle", farebbe pensare che Dante volesse indicare oggetti celesti diversi dalle stelle, ma pur sempre reali, oltre che allegorici. Se Capocci ha ragione, Dante ha inserito nel suo poema anche degli oggetti extragalattici.

Naturalmente, il discorso già fatto per la Croce del Sud potrebbe essere ripetuto per le "tre facelle", sia che esse siano da identificarsi con il Triangolo del Sud, sia che in esse siano da vedersi α Eridani e le due nubi magellaniche: Dante, sempre molto attento alle questioni astronomiche, avrebbe consultato i cataloghi stellari arabi, trovandovi un gruppo di quattro astri e uno di tre astri chiaramente delineati nell'emisfero meridionale, ed avrebbe deciso di usarli come allegoria delle virtù. Il fatto che le costellazioni dantesche ad avere una controparte reale siano due, depone a favore del fatto che l'autore della Commedia si sia ispirato a stelle reali, anche se il problema della "prima gente" che, sola, avrebbe potuto vederle, fa pendere la bilancia a favore della pura invenzione a fini allegorici. Anche in questo caso, come in quello della datazione del viaggio dantesco e in quello dei quattro cerchi uniti con tre croci, resta sostanzialmente insolubile.



Gli studiosi di archeoastronomia (la scienza che si occupa di come i nostri antenati vedevano il cielo) hanno avanzato numerose ipotesi sull'enigma delle "sette stelle" dantesche. Vale la pena di esaminare il parere di uno studioso di problemi archeoastronomici, Giulio Magli, che nel suo testo *I segreti delle antiche civiltà megalitiche* così scrisse: *"Questa costellazione [la Croce del Sud], come anche il vicino Centauro non è più visibile alle latitudini del mediterraneo. La precessione infatti portò entrambe le costellazioni a culminare al di sotto dell'orizzonte nel corso degli ultimi due millenni prima di Cristo; in Italia, la Croce scomparve progressivamente tra il 700 a.C. e il 100 a.C. circa; a latitudini un po' più basse, per esempio all'altezza di Gerusalemme, il fenomeno avvenne qualche secolo dopo. (...) In ogni caso è probabile che la conoscenza di questa costellazione non si fosse persa completamente durante il Medioevo.(...)"*

CAPITOLO 5

UNA NUOVA VISIONE DELLA COSMOLOGIA DANTESCA

1. Introduzione

Le stelle e l'universo in generale sono un argomento ricorrente nelle opere di Dante, e, leggendo alcuni passi del Paradiso, in particolare quello riguardante la descrizione della Via Lattea, ci accorgiamo che egli ha spinto il suo sguardo ancora più addentro nelle profondità del cosmo. Questa considerazione ci porta direttamente a discutere della struttura dell'universo secondo Dante, cioè della cosmologia dantesca. Ma attenzione, non stiamo parlando del sistema geocentrico aristotelico-tolemaico che rappresenta la struttura del sistema solare, ma dell'idea stessa di spazio che aveva Dante, e alla luce degli ultimi studi sulla struttura geometrica del paradiso dantesco, probabilmente dovremo abbandonare la visione classica che da decenni ci è stata tramandata.

"parendo inchiuso da quel ch'elli 'nchiude,
a poco a poco al mio veder si stinse"
(Par. XXX, 10-13)

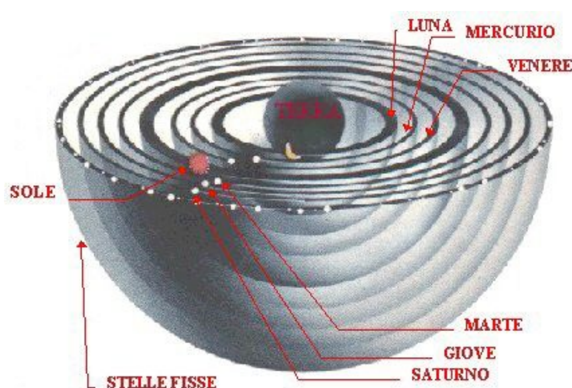
Se da una parte il termine ultimo dell'universo dantesco è l'Empireo che circonda il Primo Mobile come nella visione medievale, nello stesso tempo il poeta parla di un secondo mondo, come immagine speculare che converge in un punto. Ma come può un intellettuale come Dante, che ha il gusto dell'armonia e che tutto racchiude in un'architettura perfetta, immaginare un universo così disarmonico, incongruente e contraddittorio rispetto alla geometria euclidea? Geometria che, peraltro, conosceva molto bene. La tesi emergente è che la struttura dei cieli del Paradiso non segue la geometria euclidea tridimensionale, per intenderci quella che usiamo nella vita di tutti i giorni, ma quella non euclidea che anticipa di secoli la visione di uno spazio curvo quadrimensionale adottata poi da Einstein per descrivere l'universo nel quale viviamo. In questo modo tutto torna in maniera elegante e soprattutto coerente con i versi che Dante utilizza per descrivere il Paradiso. Il primo ad accorgersene di ciò fu il matematico tedesco Speiser che nel 1925 intravide nei versi di Dante l'anticipazione della teoria di Riemann della curvatura dello spazio.

Come ha potuto Dante anticipare Einstein di sei secoli? Innanzitutto l'immaginazione spaziale di Dante, nel tardo medioevo, non era ancora ingabbiata nel rigido immaginario newtoniano per il quale lo spazio fisico è euclideo, infinito ed assoluto. Per Dante, come per Aristotele, lo spazio è solo la struttura della relazione tra le cose, e una tale struttura può avere forme peculiari. In secondo luogo, Dante è uomo non solo di grandissima cultura, ma anche di straordinaria intelligenza, anche matematico-scientifica. Poesia e scienza sono entrambe creazioni dello spirito che creano nuovi modi di pensare il mondo, per farcelo meglio capire. La grande scienza e la grande poesia sono entrambe visionarie, e talvolta possono arrivare alle stesse intuizioni, per cui la straordinaria immaginazione e intuizione di Dante, associata alla sua non ortodossia scientifica, hanno saputo trovare una soluzione consistente all'antico problema di conciliare l'idea di un mondo finito con l'idea dell'assenza del "bordo del mondo".

Va però detto, per evitare esagerazioni o fraintendimenti, che Dante non è uno scienziato, nel senso moderno del termine, e non possedeva la matematica di quel che descrive; ma tutto ciò valorizza ulteriormente la sua figura e la rende ancora più interessante, anche agli occhi di un uomo di scienza moderno. È un poeta totale.

2. La cosmologia medievale

La cultura medievale fa suo il modello di universo dell'antica Grecia, il modello geocentrico aristotelico. L'universo fisico, è, secondo Aristotele, unico, chiuso su stesso, limitato nello spazio e illimitato nel tempo (Aristotele giustamente sottolineò che era una contraddizione logica immaginare, come aveva fatto Platone, che il mondo potesse essere creato ed eterno; deve invece o essere creato e destinato alla distruzione e, come credeva, essere sempre esistito ed eterno) ed è diviso in due regioni obbedienti a leggi fisiche diverse: i cieli formati dall'etere, inalterabili e incorruttibili, soggetti al moto circolare, il più perfetto dei moti, e dove la causa della regolarità e dell'eternità del moto degli astri va ricercata nel primo motore immobile che imprime il moto a tutte le sfere in cui sono incastonati gli astri e dove il Sole, le stelle, i pianeti, composti della quintessenza, splendono perché il moto delle loro sfere produce attrito con l'aria, quindi luce e calore; il mondo sublunare, il mondo del divenire, formato dai quattro elementi, nel quale le cose nascono, si corrompono e periscono e dove il moto degli oggetti è rettilineo o violento. Tra la zona sublunare e la zona celeste la cesura è di carattere temporale quanto ontologico. Poiché nessuna cosa reale può essere infinita perché ogni cosa esiste in uno spazio, e ogni spazio ha un centro, un basso, un alto e un limite estremo e quindi nessuna realtà fisica è realmente infinita, la sfera delle stelle fisse segna i limiti dell'universo, limiti al di là dei quali non c'è spazio, per cui non possono esistere altri mondi al di là del nostro. L'universo aristotelico è un meccanismo ingegnosamente costruito. Esso è costituito da una serie di sfere concentriche, con la Terra al centro, con le sfere che portano i vari pianeti, e naturalmente il Sole, la Luna e le stelle fisse, a distanze via via superiori. La sfera più esterna, il "primo mobile", è fissa, mentre le sfere interne sono mosse dal "primo mobile", salvo quelle vicino al centro, che sono di nuovo

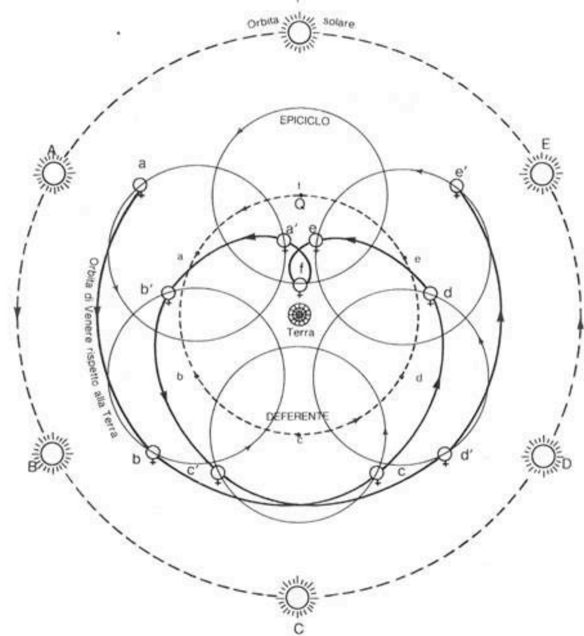


immobili. Al modello geocentrico aristotelico fornì definitiva sistemazione Tolomeo.

Nonostante la complicata architettura, il modello tolemaico-aristotelico rendeva conto abbastanza bene di ciò che accadeva nei cieli, in particolare il moto dei pianeti.

Possiamo così sintetizzare le caratteristiche più importanti di questo modello cosmico:

- ✓ Moto delle sfere celesti: circolare uniforme;
- ✓ Materia dei corpi celesti: perfetta ed incorruttibile;
- ✓ Sistema complesso: 52 sfere; equanti; epicicli
- ✓ Buona capacità di riprodurre le osservazioni del moto delle stelle e dei pianeti



Questo modello viene ripreso dai padri della chiesa, che devono però adattarlo ai principi della creazione biblica. Per la verità alcuni punti stridenti non poterono essere evitati. Quello di Aristotele era infatti un dio integrato col mondo, che poteva essere definito in modo impersonale, quale "pensiero di pensiero", o "primo motore immobile". E' evidente la differenza nei confronti del Dio cristiano, un Dio personale, trascendente rispetto al mondo. Nello stesso modo nell'ottica cristiana il mondo non è eterno, ha avuto un suo inizio e avrà una sua fine. Era insomma necessario conciliare l'universo aristotelico con la presenza di un Dio ubiquo e attivo, pieno d'amore, contemporaneamente centro della creazione e ad essa trascendente. Dunque, il mondo cristiano doveva avere due cesure in più: tra cose visibili e cose invisibili (corporeo e incorporeo) e tra creato e increato (creatura e Creatore). Ebbene, oltre il Primo Mobile, che Aristotele aveva posto come origine del tempo e del movimento, la cultura cristiana medievale aveva aggiunto un cielo ulteriore, un cielo "spirituale", non fisico, l'Empireo (dal greco "*infuocato*"), rappresentato geometricamente da un'ultima sfera che circonda tutto l'universo. Dio è l'orizzonte ultimo di tutta la realtà, abbraccia tutto il cosmo. L'Empireo era concepito infinito ed illimitato, anzi privo affatto di dimensioni fisiche, e non costituito da materia, neppure dalla purissima quintessenza, come si credeva fossero gli altri cieli: era una realtà di puro spirito, fuori dal tempo e dallo spazio, e mentre i nove cieli erano in perpetuo movimento, come una sorta di orologio cosmico, l'Empireo era eternamente immobile ed immutabile.

Dunque abbiamo nel Medioevo questa eredità dell'antica Grecia, di un modello geocentrico che però, a differenza di quanto accadeva per i greci, nel Medioevo viene identificato, viene percepito, viene sentito, viene accolto come una creatura che è la creazione di Dio.

3. La cosmologia dantesca tradizionale

Se al di là del Primo Mobile vi era qualcosa, e questo qualcosa era l'Empireo, il più alto dei cieli, luogo della presenza fisica di Dio, dove risiedevano gli angeli e le anime

beate, allora questo luogo spirituale non poteva che coincidere con il Paradiso. La sua origine va ricercata nella Bibbia, dove è usata l'espressione semitica "Cieli dei Cieli" per indicare il più alto degli spazi, dove risiede il Signore Dio in persona:

"O regni della terra, cantate a Dio,
salmeggiate al Signore,
a Colui che cavalca sui cieli dei cieli eterni!
Ecco, egli fa risuonare la sua voce,
la sua voce potente » (Salmo 68, 32-33)
« Lodatelo, cieli dei cieli,
e voi acque al di sopra dei cieli! "
(Salmo 148, 4)

Dante viaggia attraverso il Paradiso negli ultimi quattro canti della Divina Commedia, e quando vi entra Beatrice così glielo descrive:

"Noi siamo usciti fore
del maggior corpo al ciel ch'è pura luce:
luce intellettüal, piena d'amore;
amor di vero ben, pien di letizia;
letizia che trascende ogne dolzore.
Qui vederai l'una e l'altra milizia
di paradiso, e l'una in quelli aspetti
che tu vedrai a l'ultima giustizia."
(Paradiso XXX, 38-45)

Ma andiamo per ordine. In cima alla montagna del Purgatorio si trova il Paradiso Terrestre, che non è più sottomesso alla fisica sublunare. Dopo che Dante è stato purificato dalle acque dei due fiumi santi, il Lete e l'Eunoè, può ascendere al Paradiso Celeste, immerso nella luce sfavillante di un eterno meriggio. E' così che Dante supera la prima grande cesura dell'Universo, quella che separa la zona sublunare da quella celeste, in cui il tempo è il tempo dell'eternità. Siamo ancora nella zona delle cose visibili e corporee, ma non più sottoposte all'alterazione del tempo. I cieli che si susseguono a questo punto sono disposti secondo la visione aristotelica-tolemaica, concentrici e tutti di raggio maggiore, l'ultimo comprendente tutti quelli sottostanti con al centro la Terra. L'ultimo cielo viene così descritto: "*Ciel velocissimo*", trasparente. Se nell'ottavo cielo Dante si trovava in un punto ancora ben definito, la costellazione dei Gemelli, ora lo spazio è tanto omogeneo e uniforme da non poter più trovare nessun punto di riferimento spaziale per orientarsi. E in effetti, come spiega immediatamente Beatrice, "*questo cielo non ha altro dove che la mente divina*". E' nel Cielo Cristallino che hanno origine il movimento e il tempo. Tutti i movimenti infatti "*son mensurati da questo, sì come diece da*

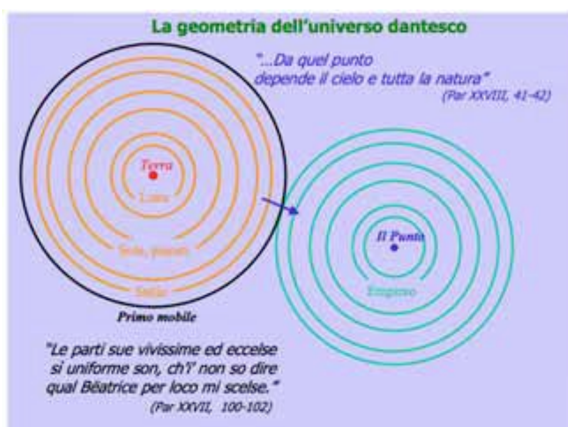
mezzo e da quinto". Più interessante a questi fini è però l'immagine del tempo: un albero, metaforicamente, che affonda le sue radici nel cristallino e sviluppa le proprie fronde negli altri cieli. Un albero, dunque, capovolto. Pare che ci stiamo apprestando a un nuovo cambiamento di prospettiva, a un nuovo centro gravitazionale dell'universo. Ma nel canto XXVII Beatrice ci dà anche un'altra importante indicazione riguardo a ciò che aspetta Dante oltre il nono cielo: l'Empireo: "*Luce ed amor d'un cerchio lui comprende sì come questo li altri*" (Par. XXVII 112-113). L'Empireo, ovvero, cinge il Cristallino così come il Cristallino cinge gli altri cieli. L'Empireo è compreso solo dalla mente divina ed è il luogo della seconda cesura dell'Universo dantesco, quella che separa le cose corporee e visibili da quelle incorporee e invisibili. La terza cesura, tra creatura e creatore, non potrà essere attraversata razionalmente dalla vista di Dante, che dovrà affidarsi al "*folgore*", all'illuminazione della grazia divina. Nell'Empireo insomma Dante vedrà entrambe le schiere del Paradiso, quella degli Angeli e quella dei Santi, e quest'ultima ha modo di vederla come essa apparirà nel giorno del Giudizio Finale, quando ogni anima "*ripiglierà sua carne e sua figura*" (Inf. VI, 98). Le tribune su cui siedono i Beati appaiono a Dante disposte lungo una "candida rosa". Nell'Empireo inoltre il nostro poeta ha modo di contemplare le gerarchie degli angeli, disposte su nove cerchi concentrici, ad immagine dei nove cieli; e al centro di questi nove cerchi, un punto luminosissimo che rappresenta la Divinità, in cui Dante arriva a scorgere i misteri della Trinità e dell'Incarnazione. In pratica, quando Dante comprende "*me sormontar di sopr'a mia virtute*" (Par. XXX, 57), cioè che le sue facoltà percettive sono accresciute più di quanto egli stesso non credeva possibile, si rende conto che sta guardando una sorta di secondo universo, simmetrico rispetto al primo, costituito dal mondo sensibile. Quest'ultimo infatti è composto da nove cieli materiali che circondano la Terra; l'Empireo a sua volta è formato da nove cieli, stavolta spirituali, che convergono loro pure in un punto. Ma a complicare la questione della cosmologia dantesca viene il fatto che in alcuni passaggi, per esempio quando Beatrice si rivolge a Dante dicendo: "*Luce ed amor d'un cerchio lui comprende sì come questo li altri*", l'Empireo sembra circondare il Primo Mobile e quindi il mondo sensibile. Cioè: il cerchio di luce e d'amore che è l'Empireo contiene il Primo Mobile, così come quest'ultimo comprende tutti i cieli precedenti; e solo colui che lo avvolge, cioé Dio, intende cosa sia e in che modo operi. Appena un canto dopo, invece, l'Empireo sembra piuttosto "richiudersi su se stesso", come se esso non fosse lo spazio esterno ad una sfera (il Primo Mobile), ma piuttosto lo spazio interno ad essa!



"Distante intorno al punto un cerchio d'igne
si girava sì ratto, ch'avria vinto
quel moto che più tosto il mondo cigne;
e questo era d'un altro circumcinto,
e quel dal terzo, e 'l terzo poi dal quarto,
dal quinto il quarto, e poi dal sesto il quinto.
Sopra seguiva il settimo sì sparto
già di larghezza, che 'l messo di Iuno

intero a contenerlo sarebbe arto.
Così l'ottavo e 'l nono; e chiascheduno
più tardo si movea, secondo ch'era
in numero distante più da l'uno;
e quello avea la fiamma più sincera
cui men distava la favilla pura,
credo, però che più di lei s'invera.
La donna mia, che mi vedëa in cura
forte sospeso, disse: "Da quel punto
depende il cielo e tutta la natura."
(Par. XXVIII, 25-42)

Dante sta osservando il punto luminosissimo nel quale riconoscerà l'Unità e Trinità di Dio, e vicino ad esso vede girare un cerchio di fuoco ("*d'igne*"), tanto veloce da superare anche il moto di quel cielo (il Primo Mobile) che più rapidamente si volge intorno alla Terra. Questo primo alone è circondato da un secondo, e questo da un terzo, e via seguitando. Il settimo è così esteso che persino "*il messo di Iuno*", cioè l'arcobaleno, se anche fosse un circolo intero e non un arco, quale noi lo vediamo sarebbe troppo stretto per contenerlo. Ed ognuno si muove con velocità decrescente, in proporzione del numero d'ordine di ciascuno in rapporto all'unità: il secondo ha velocità angolare pari alla metà del primo, il terzo la ha pari a un terzo del primo, e così via, proprio come il Cielo della Luna è più veloce di quello di Mercurio, questo di quello di Venere, e così via, potenziando la simmetria tra mondo materiale ed Empireo. E risplende più limpida la fiamma di quel cerchio che ruota più vicino alla "*favilla pura*", cioè a Dio, perchè, essendo più prossimo alla perfetta verità che egli è, maggiormente si compenetra in essa. Il commento di Beatrice ("*Da quel punto / depende il cielo e tutta la natura*") riflette quasi letteralmente la formula aristotelica "*Ex tali igitur principio dependet coelum et natura*" (Metafisica XII, 7), ripresa da San Tommaso nella Summa Theologica; ma Dante sostituisce all'astratto "principio" il concetto di "punto geometrico".



Se dunque nel canto XXVII il Primo Mobile appariva come un cielo la cui struttura fisica non è dissimile da quella degli altri cieli, cioè una sfera esterna e concentrica a quelle planetarie e stellari, immersa nell'infinità dell'Empireo, che delimita l'intero universo visibile, appena un centinaio di versi dopo lo stesso Empireo viene raffigurato come un'altra serie di sfere concentriche, costituite dai vari ordini di angeli che ruotano a loro volta attorno ad un punto centrale che è Dio stesso. Guardando dal Primo Mobile verso l'esterno, cioè verso l'Empireo, è come se ci trovassimo a contemplare un secondo universo, simmetrico rispetto al mondo sensibile, con nove cieli intorno a un fulcro di rotazione che resta immobile. Curiosamente, Dante si sofferma a sottolineare con forza come non vi sia alcuna indicazione che si debba scegliere un punto particolare sul Primo Mobile per avere questa visione; anzi, Dante ci ha già avvisati che il Primo Mobile è così omogeneo ed isotropo (cioè sempre uguale a se stesso in ogni punto e in ogni direzione) che non riesce a stabilire con certezza neppure da che parte vi è entrato:

"Le parti sue vivissime ed eccelse
sì uniforme son, ch'i' non so dire
qual Bëatrice per loco mi scelse."
(Par. XXVII, 100-102)

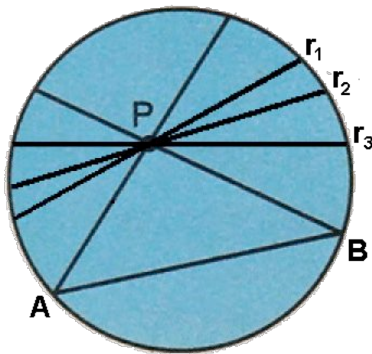


Con questa terzina, l'Alighieri vuole dirci che avremmo la stessa visione dell'interno dell'Empireo guardando "fuori" da qualsiasi punto del Primo Mobile. In altri termini l'Empireo è un cielo che circonda l'universo sensibile, e allo stesso tempo è a sua volta richiuso a mo' di sfera intorno ad un punto.

E allora? Allora questo spazio geometrico descritto da Dante è impossibile rappresentarlo attraverso la geometria euclidea utilizzata per descrivere l'Inferno e il Purgatorio. Dobbiamo, pertanto, rappresentarci lo spazio dantesco in altro modo, basato su una geometria non euclidea, come proposto nel 1925 dal matematico tedesco ***Andreas Speiser*** (1885-1970). Ma per fare questo è necessario discutere, seppur in maniera sintetica, delle geometrie non euclidee.

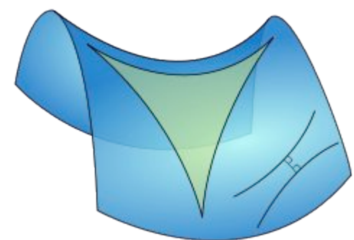
4. Le geometrie non euclidee

La geometria euclidea è la geometria che si basa sui cinque postulati di Euclide e in particolar modo sul postulato delle parallele: *Data una qualsiasi retta* r *ed un punto* P *non appartenente ad essa, è possibile tracciare per* P *una ed una sola retta parallela alla retta* r *data.*



Non tutti i matematici, nei secoli a venire, accettarono l'indimostrabilità di questo postulato, e cercarono di dedurlo dai primi quattro. La conseguenza di questi tentativi fu non la dimostrabilità del teorema, ma bensì la scoperta di nuove geometrie. Le geometrie che si basano su postulati diversi da quelli elencati da Euclide sono dette geometrie non euclidee. A giungere per primi ad una geometria non euclidea compiuta, indipendentemente l'uno dall'altro, furono ***Lobacevskij*** (1793-1856) e ***Bolyai*** (1802-1860) nel 1832. Essi fondarono il lavoro su un postulato completamente diverso dal Quinto di Euclide:

Per un punto fuori di una retta passano infinite rette parallele ad una retta data.

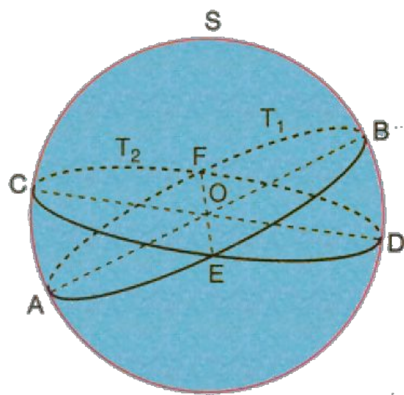


Come realizzare in pratica questa strana geometria? Basta chiamare "piano" quello che per Euclide è un cerchio, e "retta" ogni corda dello stesso cerchio (estremi esclusi). È facile verificare che i primi quattro postulati di Euclide valgono anche in questa geometria. Tuttavia, non vale più il famoso quinto postulato se definisco "rette parallele" due corde del cerchio che non si intersecano mai. Si consideri infatti la figura: il punto P non appartiene alla "retta" AB, ma come si vede ci sono infinite "rette" passanti per P (ad esempio r_1, r_2, r_3) che non intersecano AB, e quindi ad esse

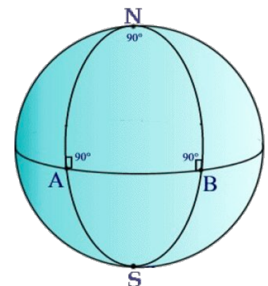
"parallele". Questa nuova geometria viene chiamata iperbolica. Si può dimostrare che in essa valgono ancora molti teoremi della geometria euclidea, ma non è più vero che la somma degli angoli interni di un triangolo è pari a 180° (questo infatti è uno degli enunciati alternativi del quinto postulato): è invece sempre minore di 180°.

Successivamente, sempre negando il quinto postulato, ***Riemann*** (1826-1866) costruì un'altra geometria non euclidea, stavolta detta ellittica, in cui vale il seguente postulato alternativo:

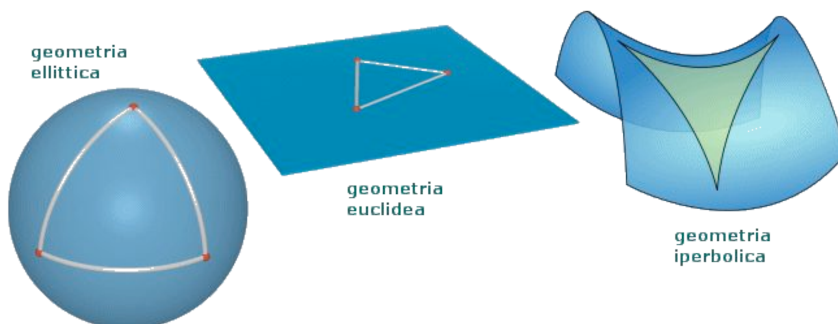
Per un punto fuori di una retta non si può condurre alcuna retta ad essa parallela.



Basta chiamare "piano" quella che per Euclide è la superficie di una sfera S, e "rette" i suoi cerchi massimi, ad esempio T_1 e T_2, mentre "punti" sono le coppie di punti euclidei antipodi sulla sfera, come ad esempio E ed F nella figura: come si vede, nessun cerchio massimo può evitare di intersecarne un altro, e dunque le rette parallele non esistono più, in accordo con il "nuovo" postulato di Riemann. In questa geometria la somma degli angoli interni di un triangolo è sempre maggiore di 180°. Infatti si consideri la superficie terrestre e si prendano il suo equatore e due meridiani separati da 90° di longitudine. Come si vede, il triangolo ABN formato dall'intersezione di questi tre cerchi ha ben tre angoli retti, e quindi la somma dei suoi angoli interni è pari a 270°! La geometria costruita sulla superficie di una sfera è una geometria non euclidea.



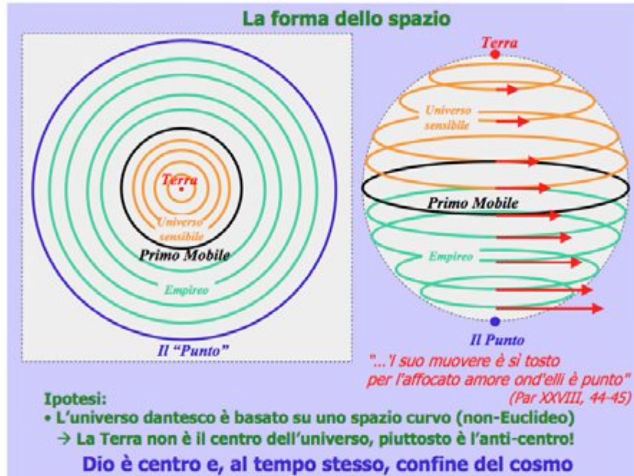
Come si vede, mentre la geometria iperbolica di Lobacevskij e Bolyai sfrutta pur sempre figure piane come il cerchio che si sostituiscono al piano, invece la geometria ellittica di Riemann abbandona il piano, costruendo la sua geometria su di una superficie curva. In questo caso si tratta in effetti della superficie tridimensionale di una sfera, ma il tutto può essere generalizzato ad una "superficie ad n dimensioni". Viene introdotto in tale modo il concetto di curvatura dello spazio, giacché la varietà di Riemann è manifestamente una superficie curva. In particolare, la sfera viene chiamata una "varietà di Riemann a curvatura positiva", in quanto la somma degli angoli interni di un triangolo risulta maggiore di un angolo piatto.



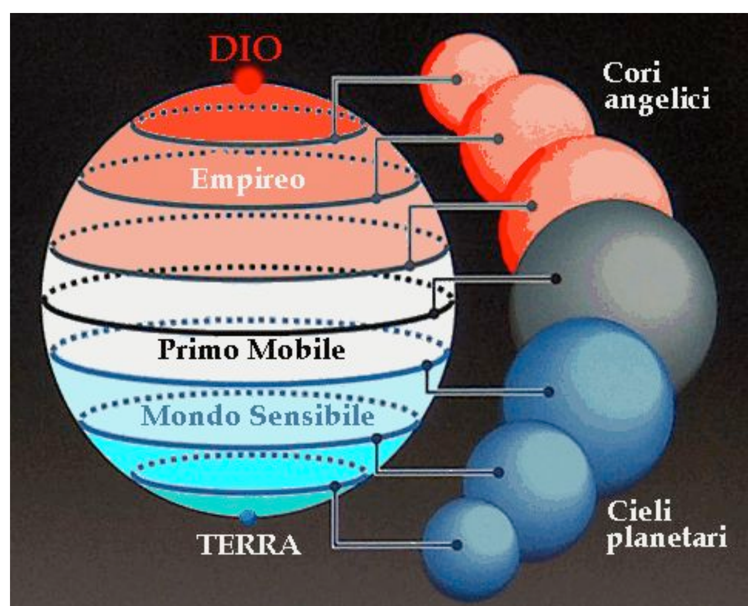
Allora la geometria euclidea, che è costruita dentro un piano, è una geometria a curvatura nulla, mentre la geometria iperbolica prima descritta è una "varietà di Riemann a curvatura negativa", in quanto la somma degli angoli interni di un triangolo risulta minore di un angolo piatto. In pratica, la geometria costruita su una superficie sferica è sicuramente ellittica, mentre quella costruita su di un piano è inevitabilmente euclidea, e quella realizzata su di una superficie "a sella" è certamente iperbolica.

5. La nuova cosmologia dantesca

Il punto ultimo, dove si trova Dio, che prima era effettivamente un punto, è ora diventato un'ultima sfera che circonda tutto l'universo. La situazione pare paradossale: teologicamente il paradosso è quello della divinità che è sia centro assoluto che contenitore assoluto della creazione. Apparentemente siamo davanti ad una contraddizione, che comunque nello spazio della geometria euclidea è impossibile da spiegare. Inoltre, se esaminiamo la cosmologia dantesca nel suo insieme, dall'Inferno al Paradiso, le perplessità aumentano ancora di più. Infatti, dall'immagine tradizionale cosa osserviamo: al centro si vedono la Terra e il percorso dantesco dall'imbuto infernale al monte del Purgatorio, intorno alla Terra, quali sfere concentriche, si susseguono correttamente i nove cieli materiali. Fino a qui la rappresentazione è fuori discussione. Bisogna però ammettere che il completamento dell'universo dantesco, vale a dire la rappresentazione dei nove cori angelici concentrici che racchiudono Dio, lascia più di un dubbio. Come abbiamo potuto vedere Dante ha descritto con mirabile attenzione un universo perfettamente ordinato e simmetrico, fatto di parallelismi e inversioni. Le stesse due zone (quella sensibile e quella angelica) sono simmetriche per il numero delle sfere, in stretta corrispondenza. In tutte le rappresentazioni dell'Universo dantesco tuttavia, per utilizzare le parole colorite di Patapievici, i cori angelici e lo stesso Dio risultano una sorta di "*escrescenza asimmetrica, goffamente aggiunta al corpo simmetrico e bello del cosmo greco*". I due nuclei di sfere concentriche risultano separati e dislocati casualmente in uno spazio male definito, un modello cosmologico quanto meno improbabile, che fa a pugni con la tensione alla bellezza e all'armonia della descrizione dantesca.



Dante, dunque, invece di descrivere uno spazio piatto, incompatibile con la geometria euclidea e quindi con le rappresentazioni tradizionali del Paradiso, ha immaginato uno spazio curvo. Sarebbe come dire che l'universo dantesco è fatto da sfere concentriche, sempre più grandi via via che ci allontaniamo dalla Terra, le quali però oltrepassato un certo limite (il Primo Mobile) incominciano a diventare sempre più piccole fino a convergere intorno a un altro punto, che non è la Terra. Nello spazio tridimensionale tutto ciò pare impossibile, ma come ci renderemo conto in seguito, in uno spazio pluri-dimensionale questa struttura è geometricamente non solo esistente, ma di perfetta armonia come la sfera nella nostra



concezione.

Un'indiscutibile conferma di questa straordinaria visione quadridimensionale dell'universo è offerta dallo stesso Dante quando, appena entrato nell'Empireo oltrepassando il Primo Mobile, l'ultima frontiera dell'universo materiale, afferma:

"Non altrimenti il trïunfo che lude
sempre dintorno al punto che mi vinse,
parendo inchiuso da quel ch'elli 'nchiude,
a poco a poco al mio veder si stinse"
(Par. XXX, 10-13)

Il punto di luce e le sfere di angeli circondano l'universo sensibile, e insieme sono circondati dall'Universo stesso.

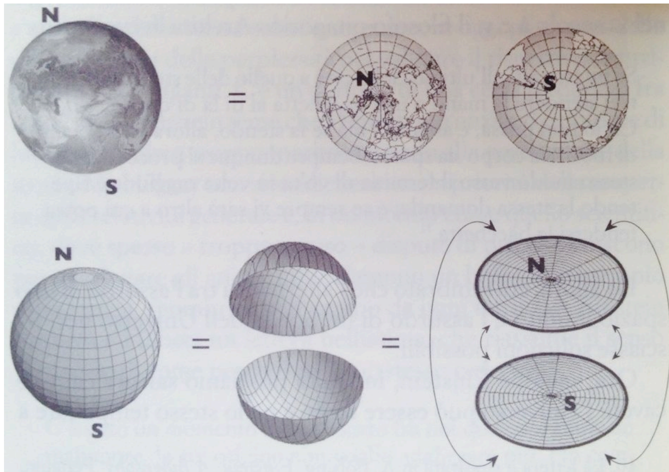
Per la maggior parte dei lettori, l'immagine di due insiemi di sfere concentriche ciascuno dei quali "inchiude" l'altro è solo un'oscura immagine poetica. I libri sulla Divina Commedia disegnano il punto di luce e le sfere di angeli semplicemente fuori dall'universo aristotelico. Ma per un matematico o un cosmologo di oggi, la descrizione della forma dell'Universo data da Dante è perfettamente trasparente, e l'oggetto descritto da Dante è inconfondibile. Si tratta di una ipersfera (tre-sfera), la forma che nel 1917 ***Einstein*** (1879-1955) ha ipotizzato essere la forma del nostro universo, e che oggi resta compatibile con le più recenti misure cosmologiche.

L'ipotesi non è così fantasiosa come potrebbe sembrare a prima vista, dato che Dante aveva probabilmente più familiarità con la geometria sferica, legata alle osservazioni astronomiche, che con la geometria euclidea: forse fu questo a favorire la sua arditissima intuizione di una geometria "diversa". La grande intuizione di Speiser è stata proprio questa: l'universo di Dante non è uno spazio euclideo, bensì una varietà di Riemann. Ecco come si esprime egli stesso: *Dante possiede una chiara visione globale della complessa struttura spaziale nella sua totalità. Per le nove sfere del cielo, Dante recupera la rappresentazione di Aristotele, apportando un cambiamento fondamentale che riguarda la fine dello spazio: come può essere che la sfera più distante, che appare la più grande, abbia in realtà le più piccole dimensioni? [...] Lo spazio di Dante è una varietà di Riemann con una fonte di energia che imprime ad esso la metrica".*

Se la forma dell'Universo di Dante è un'ipersfera, allora di quale forma geometrica stiamo parlando? L'ipersfera è una sfera avente più di tre dimensioni: nel nostro caso quattro. È una struttura matematica, una figura geometrica, che non è facilissima da concepire. La difficoltà sta nel fatto che non la si può disegnare dentro lo spazio a cui siamo abituati, per lo stesso motivo per cui la superficie della Terra non può essere disegnata fedelmente su una carta geografica piana. Per capire, consideriamo il seguente problema: se camminiamo sulla Terra sempre nella stessa direzione, dove arriviamo? Incontriamo il bordo della Terra? No. Arriviamo in paesi sempre nuovi all'infinito? Neppure. Come ben sappiamo, dopo avere fatto il giro della Terra, torniamo al punto di partenza. Questo perché la Terra è una "sfera", precisamente è una "due-sfera". Una sfera è una superficie, e quindi ha due dimensioni, ma è immersa nello spazio tridimensionale. Dato che è curva, abbiamo bisogno di una terza dimensione per contenerla. Però ci bastano due coordinate per descrivere la posizione di un punto su una sfera, e questo significa che le dimensioni sono solo due (queste due coordinate potrebbero essere latitudine e longitudine, se ci trovassimo sulla Terra".

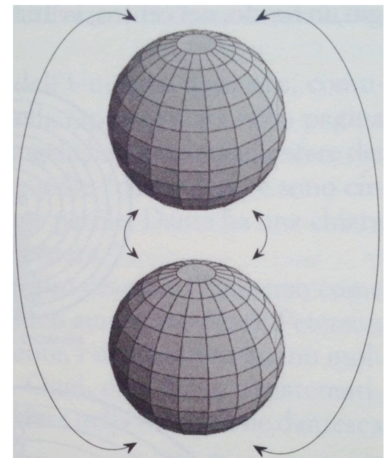
Poniamo la stessa domanda per l'universo in cui siamo: immaginiamo di poter viaggiare su un'astronave velocissima sempre nella stessa direzione. Dove arriviamo? Incontreremo il bordo dell'universo? No. Troveremo spazi sempre nuovi all'infinito? No. E

allora? Allora c'è la terza possibilità: dopo avere fatto il giro intero dell'Universo, ritorneremo al punto di partenza, sulla Terra. Questo è ciò che avviene se l'Universo è una tre-sfera. Ora però non possiamo disegnarla, perché la 3-sfera è una figura immersa nello spazio a 4 dimensioni.

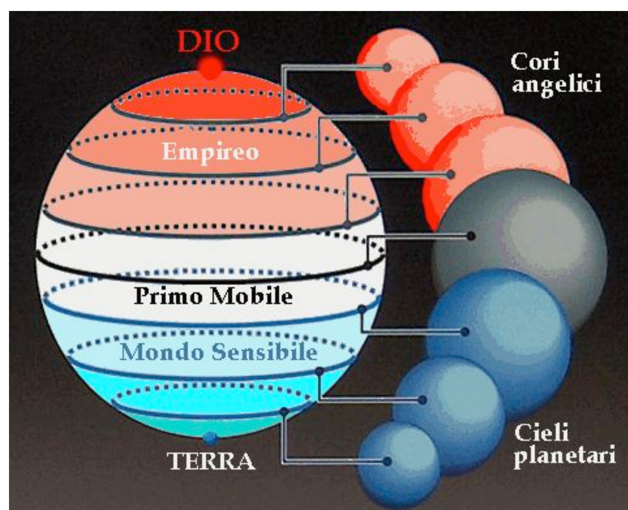


Ma come possiamo rappresentarci una ipersfera? Una tecnica ben nota per disegnare la Terra su una carta geografica, consiste nel disegnare due dischi: uno con i continenti dell'emisfero nord e il polo nord al centro, e l'altro analogo per l'emisfero sud. L'equatore è disegnato due volte, come il bordo di entrambi i dischi. Un abitante dell'emisfero sud è "circondato" dall'emisfero nord, perché in qualunque direzione si muova per uscire dal suo emisfero arriverà sempre all'emisfero nord. Ovviamente è vero anche il contrario. Ciascun emisfero "circonda" e insieme è "circondato" dall'altro emisfero. Quindi, partendo dal polo sud verso l'equatore notiamo che i paralleli su di essa si allargano sempre più fino all'equatore; poi, man mano che procediamo verso il polo nord, rimpiccioliscono di nuovo fino a ridursi ad un punto. Tutti i paralleli presi globalmente costituiscono la due-sfera.

La tre-sfera può essere rappresentata in maniera del tutto analoga, con una dimensione in più, disegnando due "palle" incollate per il bordo. Una palla è "l'emisfero nord" della tre-sfera, l'altra è l'emisfero sud. La sfera "equatoriale" che separa e connette i due emisferi è disegnata due volte: come il bordo delle due palle. Quando si esce da una palla si entra nell'altra, per cui ciascuna delle due palle "circonda" e insieme è "circondata" dall'altra palla. Un viaggiatore che partisse dal centro della prima palla e salisse "di sfera in sfera", come Dante, fino a questo equatore, vedrebbe sotto di sé un insieme di sfere concentriche, che si richiuderebbero intorno a un punto. Quest'altro emisfero, allo stesso tempo "circonderebbe" e "sarebbe circondato" dalla prima palla. Quindi, se a partire da un punto prendiamo una serie di sfere di raggio crescente, fino ad arrivare ad un valore massimo dopo il quale esse cominciano a ridursi sino a un punto, tutte queste sfere hanno costruito una tre-sfera, cioè una sfera quadridimensionale con una superficie a tre dimensioni, di cui il punto iniziale rappresenta il polo sud, il punto finale rappresenta il polo nord, e la sfera di raggio massimo rappresenta l'equatore.



Nel caso del Paradiso dantesco, il punto da cui partiamo è la Terra (anzi, il centro della Terra dove è situato Satana con la testa a tre facce); le sfere di dimensione crescente sono le sfere dei quattro elementi e poi le sfere celesti fatte di etere, cioè il mondo sensibile. Nella visione classica sono i cieli concentrici alla Terra, precisamente nove cieli: Luna, Mercurio, Venere, Sole, Marte, Giove, Saturno, le stelle fisse e, infine, il "Primo Mobile" che imprime il movimento a tutti i cieli al di sotto; in particolare la velocità aumenta man mano che si va verso l'esterno. L'equatore della tre-sfera è costituito dal Primo Mobile (il bordo comune alle due sfere). Dante vede, riflesso negli occhi di Beatrice, un punto

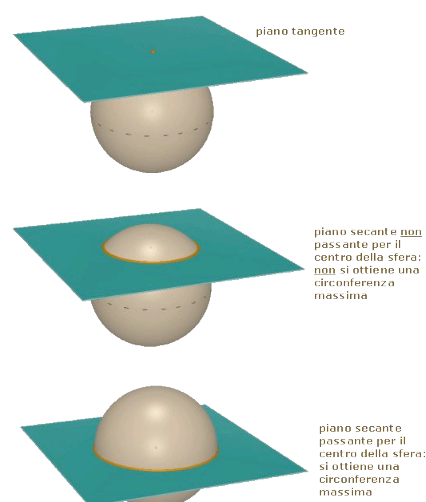


luminoso. Si volta per osservarlo meglio, e lo vede circondato, nella visione classica, da nove cerchi in movimento, che si muovono più lenti man mano che si allargano, il contrario di quello che succede con la terra e i cieli che la circondano. Nella visione dell'ipersfera, Dante si trova sul bordo della prima sfera, il quale è anche bordo della seconda sfera. Lo sguardo di Dante continua a salire, dirigendosi verso il centro della seconda sfera. Da questo punto di vista, la velocità delle varie sfere concentriche aumenta sempre. Le sfere concentriche decrescenti sono i cori angelici, puramente spirituali, che costituiscono l'Empireo. Il centro della seconda sfera, il punto di arrivo, è Dio: «*Da quel punto depende il cielo e tutta la natura*".

Dante usa gli occhi di Beatrice come uno specchio. Ma l'immagine allo specchio è simile a quella reale, solo che è invertita, l'invisibile obbedisce a norme opposte rispetto al visibile. Il mondo invisibile diventa allora un "calco rovesciato del mondo visibile": l'Empireo è Teocentrico mentre il nostro Universo è Geocentrico; i cori angelici orbitano intorno a Dio a velocità sempre più alta via via che ci si avvicina a Dio, mentre i cieli accelerano via via che ci si allontana dalla Terra; in perfetta corrispondenza con il centro della prima sfera (Satana) vi è il centro della seconda sfera (Dio), la Trinità, in perfetta corrispondenza con i tre volti di Satana.

In conclusione, come dalla circonferenza massima di una sfera è possibile vedere ogni suo punto, sia in direzione del polo nord che del polo sud, analogamente, dalla sfera del Primo Mobile è possibile vedere tutti i cieli planetari e la Terra guardando da una parte, tutti i cori angelici e la Trinità Divina guardando dall'altra.

Ma come faremmo ad accorgerci se un'ipersfera apparisse nel nostro universo tridimensionale? Immaginiamo un universo abitato da esseri bidimensionali, per esempio quadrati. Ebbene, tali esseri avrebbero la facoltà di percepire solo ciò che è alla propria destra o sinistra, mentre per loro non avrebbero senso l'alto o il basso. Una sfera, abitante nello spazio tridimensionale, che attraversasse questo piano abitato da quadrati come sarebbe percepita? Sarebbe percepita come un punto che si allarga piano piano fino a diventare un cerchio, il quale poi si restringe fino a diventare di nuovo un punto per poi sparire (immaginate un piano che interseca una sfera: l'intersezione è un cerchio). Adesso consideriamo il nostro spazio tridimensionale che venga attraversato da una ipersfera che vive nello spazio quadridimensionale.



L'ipersfera come sarebbe percepita? Per analogia con gli esseri quadrati, sarebbe percepita come una sfera che appare prima come un punto, che si gonfia fino ad un raggio massimo per poi rimpicciolirsi di nuovo fino ad un punto per poi sparire (per analogia con il caso precedente adesso lo spazio intersecato con l'ipersfera da origine alla sfera).

6. Analogie tra visioni dantesche e origine ed evoluzione dell'universo

E non è tutto. Vi è infatti una sorprendente analogia tra l'universo dantesco come lo abbiamo descritto fin qui, e lo spazio-tempo della cosmologia moderna. Oggi sappiamo che, quando andiamo ad osservare lo spazio profondo, vediamo la luce di galassie remote, le quali però non sono lontane da noi solo nello spazio, ma anche nel tempo. Infatti quella luce non si trasmette istantaneamente, ma viaggia con velocità finita, per quanto molto elevata (300.000 km/s). La luce impiega otto minuti per giungere dal Sole fino a noi o addirittura circa 13 miliardi di anni per giungere dall'oggetto più lontano finora osservato. Di conseguenza, il Sole lo vediamo com'era 8 minuti fa e l'oggetto più lontano finora conosciuto com'era 13 miliardi di anni fa. Per questo si dice che noi non vediamo il presente, ma il passato dell'universo: guardare punti dello spazio sempre più distanti da noi significa insomma viaggiare nel tempo.

Ma quanto possiamo tornare indietro? Noi sappiamo che l'universo in cui viviamo è in espansione, cioè tutte le galassie stanno allontanandosi le une dalle altre. Ma allora, tornando a ritroso nel tempo, se ne deduce che in un certo istante del passato tutta la materia che oggi costituisce il cosmo doveva essere compressa in un volume molto piccolo, che ha cominciato ad espandersi dando vita a quello che oggi viene chiamato big bang ("grande scoppio"); e questo evento ebbe probabilmente luogo circa 13,7 miliardi di anni fa. Prima di 10^{-43} secondi dal big bang (la cosiddetta "era di Planck") non possiamo dire nulla su ciò che è avvenuto, perchè prima di questo istante, detto "tempo di Planck", la gravità era governata da leggi quantistiche, diverse da quelle della Relatività Generale di Einstein, e, a tutt'oggi, purtroppo, una teoria quantistica della gravitazione non esiste ancora. Al di sotto di questa soglia perciò possiamo dire solo che la temperatura era superiore ai 10^{37} K, che le fluttuazioni quantistiche impedivano alle particelle di esistere come entità separate, e le onde gravitazionali emesse venivano subito assorbite. A partire dal tempo di Planck in poi, invece, esse erano libere di propagarsi. Possiamo quindi fare nostre le parole di Dante allorché cerca di richiamare alla mente la sua visione di Dio:

« Un punto solo m'è maggior letargo
che venticinque secoli a la 'mpresa
che fé Nettuno ammirar l'ombra d'Argo »
(Par. XXXIII, 94-96)

Anche per gli astrofisici odierni, insomma, analizzare "un punto solo", cioè la singolarità che ha prodotto l'Universo, quando lo spazio era ridotto a un punto geometrico, la temperatura aveva valori infiniti, l'energia totale era complessivamente nulla e il tempo non era ancora partito, è più difficile che ricostruire la storia dei venticinque secoli che separavano Dante dall'impresa degli Argonauti (tradizionalmente collocata nel 1223 a.C.), quando il dio Nettuno si stupì vedendo Argo, la prima nave, solcare le acque del mare.

Dal tempo di Planck in poi vengono create le prime particelle; a questo punto la forza gravitazionale si disaccoppia dalle altre tre forze (elettromagnetica, nucleare forte, nucleare debole), che invece restano accoppiate tra di loro in un'unica interazione. Poiché tale stato di cose è oggi descritto dalle cosiddette Teorie di Grande Unificazione (GUT), tuttora in fase di elaborazione, il periodo che va da 10^{-43} a 10^{-35} secondi dal Big Bang prende il nome di "Era GUT". A quel tempo l'Universo era composto da un plasma di quark e leptoni, uno stato esotico della materia che nel nostro universo non può sussistere (i quark sono i componenti fondamentali di mesoni e barioni, e quindi anche di protoni e

neutroni, mentre i leptoni sono elettroni, muoni e neutrini). A 10^{-35} secondi terminò l'Era GUT e l'interazione nucleare forte si separò da quella elettrodebole (si ebbe cioè quella che viene definita una transizione di fase), in cui i quark divennero particelle assai diverse dai leptoni. Durante questa transizione di fase avvenne un'iperespansione dell'universo a velocità superiore a quella della luce, che prende il nome di Inflazione Cosmica, dovuta alla cosiddetta energia del vuoto: in tal modo tutto l'universo osservabile si sviluppò da una regione causalmente connessa, cioè così piccola che la luce ha potuto attraversarla interamente nel brevissimo tempo intercorso fra la "nascita" dell'Universo e l'inizio della fase inflazionaria. Le fluttuazioni quantistiche all'interno di questa regione microscopica che venne "ingrandita" dall'inflazione diedero vita a piccole disomogeneità che crebbero fino a dare origine alle galassie e ai loro ammassi. Dante sembra aver immaginato qualcosa del genere quando nell'Empireo vede espandersi davanti ai suoi occhi la meravigliosa Rosa dei Beati:

« E se l'infimo grado in sé raccoglie
sì grande lume, quanta è la larghezza
di questa rosa ne l'estreme foglie! »
(Par. XXX, 115-117)

Tra 10^{-35} e 10^{-10} secondi siamo nella cosiddetta "Era Elettrodebole", in cui le forze nucleare forte e debole sono ancora accoppiate. A 10^{-10} secondi, quando la temperatura era circa di 10^{15} K, terminò l'Era Elettrodebole con la separazione tra la forza nucleare debole e quella elettromagnetica. I quark cessarono di esistere come particelle libere e si aggregarono a tre a tre per formare i barioni (tra cui protoni e neutroni) e a due a due per formare i mesoni; da questo momento in poi i quark furono confinati dentro le particelle senza possibilità di esistere liberi. Iniziò così l'Era delle Particelle: elettroni, positroni, neutrini e fotoni. Tra 0,001 secondi e un minuto dall'inizio di tutto, con la temperatura compresa tra 10^{12} e 10^{9} K, si ebbe invece l'Era della Nucleosintesi: i neutrini si disaccoppiarono dal resto della materia, con la quale praticamente non interagirono più. Elettroni e positroni (antiparticelle degli elettroni) si annichilarono a vicenda, e restò solo un piccolo numero di elettroni, esattamente uguale a quello dei protoni. Questa situazione, in cui gli elettroni negativi si scontrano con i loro partner positivi, i positroni, trasfigurandosi in energia pura, è simile alla meravigliosa visione degli Angeli di Dio visti da Dante nell'Empireo che, come le api su questa Terra, entrano nei fiori risplendenti che tappezzano le due rive del fiume celeste (le anime dei Santi dell'Antico e quelli del Nuovo Testamento):

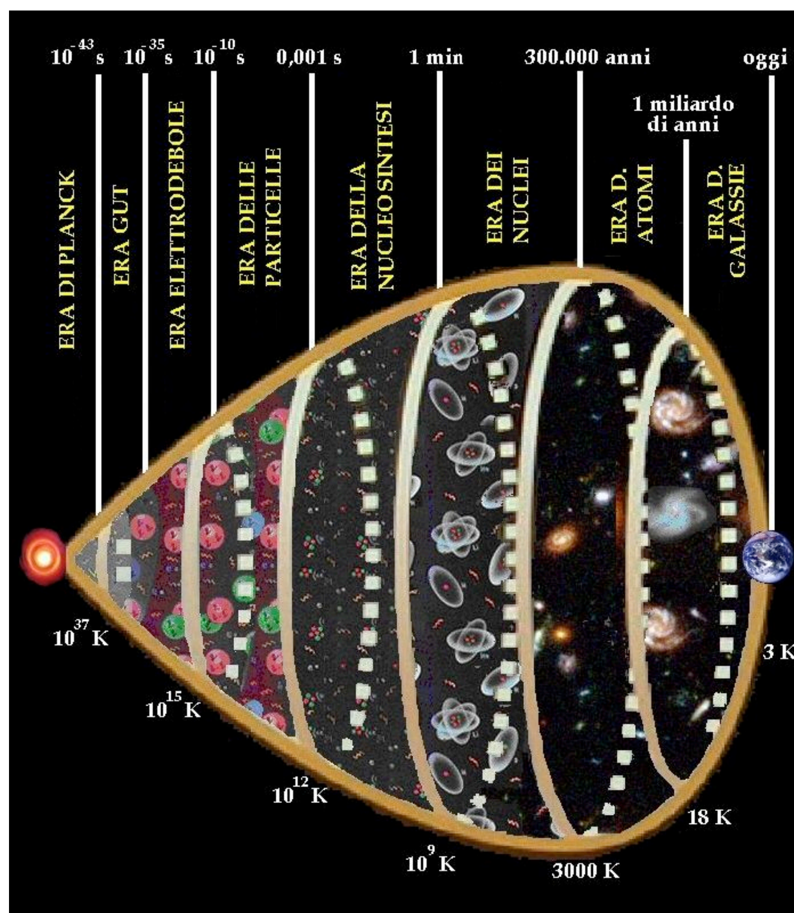
« Di tal fiumana uscian faville vive,
e d'ogne parte si mettien ne' fiori,
quasi rubin che oro circunscrive »
(Par. XXX, 64-66)

A partire da circa un minuto dopo il big bang la temperatura scese a un miliardo di kelvin, a sufficienza perchè i nuclei di deuterio, tritio, elio e di altri elementi leggeri cominciassero ad essere stabili: ora l'universo era composto per il 76% di nuclei di idrogeno e per il 24% di nuclei di elio. Ormai non vi erano più neutroni liberi: quelli non entrati a far parte dei nuclei erano decaduti in un protone, un elettrone e un antineutrino. Tuttavia non si potevano ancora formare atomi: l'intensità della radiazione era tale che, ogni volta che un protone catturava un elettrone a formare un atomo di idrogeno, poco dopo una collisione con un fotone lo distruggeva. L'universo era costituito da un plasma

di particelle elettricamente cariche (protoni e elettroni), uno stato molto abbondante anche nel cosmo attuale, costituendo le stelle. L'Era dei Nuclei durò fino a 300.000 anni dopo il big bang, quando ebbe finalmente fine l'Era della Radiazione, ed iniziò l'Era della Materia, che prosegue tuttora. La temperatura dell'universo a questo punto era di "soli" 3000 K (la lunghezza d'onda media della radiazione cosmica di fondo era ormai arrivata nel campo dei raggi infrarossi), e cominciarono a formarsi degli atomi. L'energia dei fotoni ormai era così bassa da non riuscire più a distruggere gli atomi che si andavano formando: gli elettroni si unirono ai nuclei, e l'universo diventò trasparente alla radiazione elettromagnetica, che da questo momento si disaccoppiò dalla materia ed ebbe vita autonoma. L'Universo cominciò finalmente a risplendere, e anche in questo caso Dante, nell'ultimo tratto del suo viaggio, sembra aver avuto una visione di questo stato di cose, quando dice:

« La prima luce, che tutta la raia,
per tanti modi in essa si recepe,
quanti son li splendori a chi s'appaia »
(Par. XXIX, 136-138)

Dopo circa un miliardo di anni cominciarono infine a formarsi le prime stelle: per effetto dell'attrazione gravitazionale le nubi di idrogeno primordiale si contrassero formando le protostelle, la temperatura al loro interno aumentò finché divenne tale da innescare le reazioni termonucleari. L'universo cominciò a popolarsi di galassie e di ammassi di galassie. Dopo qualche qualche miliardo di anni esplosero le prime supernovae, che dispersero nello spazio interstellare una grande quantità di materia contenente elementi pesanti sintetizzati all'interno delle stelle. Poterono così formarsi nuove nubi gassose, da cui ebbero vita stelle di seconda generazione, come il Sole, ma anche pianeti, come la Terra, ed infine la vita. Oggi, 13,7 miliardi di anni dopo il big bang, la radiazione cosmica di fondo (l'eco del big bang) ha una temperatura di 2,725 K (molto prossima allo zero assoluto). Ed ecco in figura come si presenta la storia del nostro universo, quale noi potremmo vederla spingendo i nostri strumenti più lontani nello spazio profondo e sempre più indietro nel tempo.



Si noti l'incredibile somiglianza di questo modello con la tre-sfera dantesca da noi illustrata nel paragrafo precedente. Allora, quanto più lontano noi spingiamo i nostri

occhi nello spazio, tanto più noi ci avviciniamo a quell'evento iniziale. E questo avviene in qualsiasi direzione noi rivolgiamo il nostro sguardo. Ne consegue che noi uomini siamo completamente avvolti da un orizzonte sferico, che in realtà coincide con… un punto, il punto centrale da cui è partita l'espansione universale. Esattamente come Dante che, dal Primo Mobile, voltandosi verso "l'interno" vede i pianeti, le stelle e la nostra Terra mentre, voltandosi verso "l'esterno", si trova ad osservare quel punto di pura luce che rappresenta l'Unità e la Trinità di Dio. Insomma da un punto (la Terra) è partito, e ad un punto (Dio) approda, esattamente come, nel nostro universo finito ed illimitato, la nostra osservazione parte da un punto (la Terra) per raggiungere un altro punto (il big bang). E Dante sembra quasi avere in mente l'incredibile visione di tutto il cosmo concentrato in un solo punto, come tutta la materia e tutta l'energia nel big bang, quando esclama, al colmo della sua capacità visiva di penetrazione dentro i misteri del creato:

« Nel suo profondo vidi che s'interna,
legato con amore in un volume,
ciò che per l'universo si squaderna:
sustanze e accidenti e lor costume
quasi conflati insieme, per tal modo
che ciò ch'i' dico è un semplice lume! »
(Par. XXXIII, 85-90)

In pratica, Dante vede racchiuse in un punto tutte le sostanze materiali e spirituali ("sustanze"), le loro proprietà ("accidenti") e il modo in cui interagiscono ("costume"), "conflati insieme", cioè uniti e compenetrati tra di loro: questo verbo dantesco, "conflare", rappresenta il contrario della radice del termine "inflazione". In tal modo tutto l'Universo, a partire dalla Terra e passando attraverso le sfere d'etere, il Primo Mobile e i cori angelici, finisce per convergere nel punto geometrico con il quale Dante rappresenta Dio. È come se vedesse il tempo correre a ritroso: le particelle di materia come elettroni, protoni e neutroni ("sustanze"), i vettori di campo come il fotone e i gluoni ("accidenti") ed infine le particelle che attribuiscono le proprietà a tutte le altre ("lor costume"), come lo sfuggente bosone di Higgs che dovrebbe assegnare le masse, si precipitano tutti verso il punto da cui tutti sono usciti, fino a comprimersi e a ritornare "conflati" nelle mani del loro creatore.

Ma come ha potuto Dante anticipare l'universo di Einstein di sei secoli? Come ha scritto Carlo Rovelli: *«l'immaginazione spaziale di Dante, nel tardo medioevo, non era ancora ingabbiata nel rigido immaginario newtoniano per il quale lo spazio fisico è euclideo e infinito. Per Dante, come per Aristotele, lo spazio è solo la struttura della relazione tra le cose, e una tale struttura può avere forme peculiari"*. Eppoi, non dimentichiamolo, Dante è uno scrittore cristiano, per cui il suo straordinario e inconsapevole mondo a quattro dimensioni è frutto anche del tentativo di conciliare la cosmologia aristotelica con la visione cristiana: visibile e invisibile, materia e spirito, temporalità ed eternità. Ma anche di trovare una soluzione all'antico problema di conciliare l'idea di un mondo finito con l'idea dell'assenza del "bordo del mondo". E la soluzione è la stessa che Einstein escogiterà sei secoli più tardi.

Però la teoria del big bang non prevede una causa che abbia innescato "il grande scoppio". La teoria delle stringhe (analizzata nel capitolo Dante fisico) prevede che il big bang sarebbe derivato dalla collisione tra due brane che avrebbe sviluppato sufficiente energia per espandersi; una teoria davvero originale, che introduce una causa per il big bang. Si noti che Dante parla della "causa" della creazione nel ventinovesimo canto del Paradiso:

« Non per aver a sé di bene acquisto,
ch'esser non può, ma perché suo splendore
potesse, risplendendo, dir "Subsisto",
in sua etternità di tempo fore,
fuor d'ogne altro comprender, come i piacque,
s'aperse in nuovi amor l'etterno amore.
Né prima quasi torpente si giacque;
ché né prima né poscia procedette
lo discorrer di Dio sovra quest'acque. »
(Par. XXIX, 13-21)

Si tratta di terzine difficili, come del resto molti passi del Paradiso, che necessitano di un'adeguata spiegazione. Dante vuol dire quanto segue: non per ottenere per sé un accrescimento di bene, il che sarebbe impossibile, essendo Egli bene sommo e infinito, ma affinché lo splendore riflesso della sua luce (e cioè la sostanza creata) prendesse coscienza del proprio essere ("dir: Subsisto"), l'eterno amore, nella sua eternità fuori dal tempo e dallo spazio ("di tempo fore"), con un atto spontaneo della sua volontà ("come i piacque"), si aprì come un fiore in una molteplicità di esseri pronti ad amare: gli angeli e gli uomini. Né si può affermare che Dio, prima della sua creazione, restò inoperoso ("torpente"), perché non vi fu né un prima né un poi, essendo la creazione avvenuta fuori dal tempo. E qui si ritrovano molti temi trattati dai maestri dell'Alighieri, a partire da Sant'Agostino e San Tommaso. Si noti come quel magnifico verso: *«s'aperse in nuovi amor l'etterno amore»* ricorda incredibilmente la teoria dell'inflazione cosmica, trattata in precedenza.

Ma non è tutto. Dante ci riferisce anche sul destino ultimo dell'universo. Il secondo principio della termodinamica, attraverso il concetto di entropia (grado di disordine di un sistema chiuso ed isolato) che aumenta sempre, ci insegna che tutto conosce una decadenza e una fine, così come avverrà per il nostro universo. È evidente che Dante ne parli ripetutamente nella sua Commedia, facendo riferimento al giudizio universale e alla fine del mondo così come ne parlano le sacre scritture e i maggiori esperti di teologia del Medioevo. Virgilio vi accenna dopo che Ciacco ha finito di parlare a Dante e si accascia nel fango del Terzo Cerchio « a par de li altri ciechi »:

« E 'l duca disse a me: "Più non si desta
di qua dal suon de l'angelica tromba,
quando verrà la nimica podesta:
ciascun rivederà la trista tomba,
ripiglierà sua carne e sua figura,
udirà quel ch'in etterno rimbomba." »
(Inf. VI, 94-99)

La "nimica podesta" ovviamente è Cristo, nemico di tutte le anime dannate. Qui sono presenti tutti i clichè della tipica rappresentazione medioevale dell'ultimo giudizio: gli angeli che annunciano la fine del mondo suonando le trombe dell'Apocalisse; il ritorno di Cristo sulle nubi del cielo; la risurrezione dei morti; il libro aperto con il quale il mondo verrà giudicato. Una rappresentazione ancor più terribile dell'ultimo giorno la ritroviamo nella selva dei suicidi:

« Come l'altre verrem per nostre spoglie,
ma non però ch'alcuna sen rivesta,
ché non è giusto aver ciò ch'om si toglie.
Qui le trascineremo, e per la mesta

selva saranno i nostri corpi appesi,
ciascuno al prun de l'ombra sua molesta. »
(Inf. XIII, 103-108)

Com'è noto, le anime dei suicidi sono incarcerate dentro alberi: coloro che rifiutarono la forma di vita più elevata, quella umana, ora sono ridotti a quella più bassa e vegetativa. Ma neppure dopo la resurrezione della carne queste anime ritroveranno i loro corpi, da esse stesse rigettati: i corpi saranno appesi come impiccati agli alberi, quale segno perenne della loro colpa e strumento più terribile del loro rimorso e della loro pena.

Ancora fa riferimento all'umanità che sarà giudicata beata nell'ultimo giorno l'Apostolo San Giovanni, quando Dante cerca di fissare la sua anima luminosissima, perdendovi la vista, e l'evangelista lo ammonisce che lì non c'è proprio nulla di corporeo da vedere:

« ...Perché t'abbagli
per veder cosa che qui non ha loco?
In terra è terra il mio corpo, e saragli
tanto con li altri, che 'l numero nostro
con l'etterno proposito s'agguagli. »
(Par. XXV, 122-126)

Il corpo dell'apostolo è polvere sulla Terra, e lo resterà fintanto che il numero dei beati non raggiungerà quello prestabilito dall'eternità nella mente di Dio. In altre parole, secondo Dante, dopo la caduta degli angeli ribelli, Dio creò l'umanità affinché ne prendesse il posto; e dunque l'ultimo giudizio non verrà fino a che in Paradiso non vi saranno tanti beati quanti demoni sono stati precipitati nell'Inferno, così da portare al numero perfetto di dieci i Cori di quanti nell'Empireo contemplano L'Unità e la Trinità di Dio. Ma c'è di più: da altri indizi si arguisce che Dante ritenga ormai prossima la fine del mondo e la parusia di Cristo, essendo ormai il mondo entrato nella sua sesta ed ultima età. Poco prima di riprendere il suo posto nella Candida Rosa, infatti, così Beatrice avverte Dante:



« Vedi nostra città quant'ella gira;
vedi li nostri scanni sì ripieni,
che poca gente più ci si disira. »
(Par. XXX, 130-132)

Insomma, lassù sono attesi ancora pochi spiriti ad occupare i pochi scranni rimasti ancora liberi nella Gerusalemme celeste, fra cui quello dello stesso Dante.

Veniamo ora alla versione della fine del mondo propostaci dalla scienza moderna attraverso otto probabili eventi. Eccoli, in ordine crescente di pericolosità:

- ✓ una supertempesta solare, che metterebbe in tilt i nostri sistemi di comunicazione;
- ✓ il riscaldamento globale incontrollato, che potrebbe portare al sommergimento di intere zone costiere densamente abitate;
- ✓ una pandemia devastante, cui l'umanità oggi è assolutamente impreparata;

- ✓ una serie di supereruzioni vulcaniche, che potrebbero causare un inverno nucleare simile a quello che ha condotto all'estinzione dei dinosauri;
- ✓ una guerra termonucleare totale, classico spauracchio dell'umanità da Hiroshima in poi;
- ✓ un lampo di raggi gamma (Gamma Ray Burst), fenomeno le cui cause sono tuttora avvolte nel mistero, ma che potrebbe spazzare via la vita dalla Terra bombardandola con radiazioni altamente letali;
- ✓ l'impatto di un asteroide gigante, che sconvolgerebbe totalmente l'idrosfera terrestre (in media un grande asteroide colpisce la Terra ogni 150 milioni di anni);
- ✓ infine, un altro universo potrebbe emergere spontaneamente ed improvvisamente dentro al nostro, distruggendo del tutto il tessuto dello spazio-tempo. Ma questo evento è altamente improbabile.

Anche il nostro poeta cita più volte catastrofi leggendarie che hanno rischiato di fare piazza pulita del genere umano. A parte il diluvio universale, cui Dante accenna solo in Inf. IV, 56 quando pone Noè tra gli spiriti liberati dal Limbo da Gesù risorto, si può citare la disavventura di Fetonte, il mitologico figlio di Iperione che ottenne dal padre di provare a guidare il Carro del Sole. Ma, a causa della sua inesperienza, prima bruciò la volta celeste lasciandovi la traccia della Via Lattea, e quindi si avvicinò tanto alla Terra da far ribollire i mari e ridurre la Libia ad un deserto; e così Zeus, dietro preghiera della Madre Terra, fu costretto a fulminarlo per salvare l'umanità:

« Maggior paura non credo che fosse
quando Fetonte abbandonò li freni,
per che 'l ciel, come pare ancor, si cosse »
(Inf, XVII, 106-108)

« Quel del Sol che, svïando, fu combusto
per l'orazion de la Terra devota,
quando fu Giove arcanamente giusto. »
(Purg. XXIX, 118-120)

Sempre sul piano mitologico vi è la guerra di Flegra, cosiddetta dall'omonima pianura della Tessaglia in cui i Giganti tentarono l'assalto all'Olimpo dopo aver sovrapposto i monti Pelion e Ossa, ricordata da Capaneo nella landa infuocata dei bestemmiatori:

« Se Giove stanchi 'l suo fabbro da cui
crucciato prese la folgore aguta
onde l'ultimo dì percosso fui;
o s'elli stanchi li altri a muta a muta
in Mongibello a la focina negra,
chiamando: "Buon Vulcano, aiuta, aiuta!",
sì com'el fece a la pugna di Flegra,
e me saetti con tutta sua forza:
non ne potrebbe aver vendetta allegra »
(Inf. XIV, 52-60)

da Virgilio nel pozzo dei Giganti, nel suo discorso ad Anteo:

« ...e che, se fossi stato a l'alta guerra
de'tuoi fratelli, ancor par che si creda
ch'avrebber vinto i figli de la terra »
(Inf. XXXI, 119-121)

nonché nella Prima Cornice del Purgatorio, tra gli esempi di superbia punita:

« Vedea Timbreo, vedea Pallade e Marte,
armati ancora, intorno al padre loro,
mirar le membra d'i Giganti sparte. »
(Purg. XII, 31-33)

7. Il tempo della fisica e di Dante

Tutti quelli fin qui citati da Dante sono classici racconti attinenti alla fine del mondo, come raccontano tutte le tradizioni religiose delle varie civiltà della Terra. Ma Dante va oltre. Nel 98° e terzultimo canto dell'intera Divina Commedia, infatti, egli esprime tutto il suo stupore di fronte alla magnificenza incomparabile della Rosa dei Beati, paragonandosi a quei barbari che invasero l'Italia e rimasero stupefatti di fronte ai templi e alle maestose architetture di Roma, ed aggiunge:

« ...ïo, che al divino da l'umano,
a l'etterno dal tempo era venuto,
e di Fiorenza in popol giusto e sano,
di che stupor dovea esser compiuto!
Certo tra esso e 'l gaudio mi facea
libito non udire e starmi muto. »
(Par. XXXI, 37-42)

La triplice antitesi qui citata contrappone ciò che è divino e incorruttibile a ciò che è umano e mortale; la Firenze dilaniata dalle contese tra fazioni e il popolo dei beati che canta concorde la lode a Dio onnipotente; e, quanto più ci interessa, l'eternità immutabile alla mutevolezza del tempo. Concentriamoci su quest'ultima contrapposizione: come abbiamo già visto nel caso di Marco Lombardo, quando si lascia la dimensione del divenire per entrare in quella dell'eternità, il tempo virtualmente cessa di scorrere, e si smette di «*partire il tempo per calendi*» (Pur. XVI, 27). Ma il tempo può finire davvero? I filosofi hanno discusso il problema della mortalità del tempo molto prima dell'avvento di Einstein. Aristotele sosteneva che il tempo non può avere né inizio né fine perché ogni istante è sia la fine di un'epoca che l'inizio della successiva, ed ogni evento è sia il risultato di qualcosa che la causa di un altro. Come si può definire la fine del tempo se il concetto stesso di "fine" presuppone l'esistenza del tempo? Ma se il tempo non ha fine, allora l'universo è infinitamente longevo, e ciò porta con sé tutte le domande da sempre legate al paradossale concetto di infinito. Come abbiamo visto sopra, Dante ha le idee molto chiare in proposito: il tempo è iniziato con la creazione e finirà con il giudizio universale. Proprio nel XXIV Canto del Paradiso, i cui versi abbiamo già commentato in precedenza, l'Alighieri ribadisce il concetto agostiniano secondo cui il tempo iniziò con il big bang, facendo affermare a Beatrice che i puri spiriti non sono stati creati "prima" del mondo sensibile:

« Ieronimo vi scrisse lungo tratto
di secoli de li angeli creati
anzi che l'altro mondo fosse fatto;

ma questo vero è scritto in molti lati
da li scrittor de lo Spirito Santo,
e tu te n'avvedrai se bene agguati;
e anche la ragione il vede alquanto,
che non concederebbe che ' motori
sanza sua perfezion fosser cotanto. »
(Par. XXIX, 37-45)

San Girolamo (347-420) scrisse che gli angeli furono creati molti secoli prima del mondo fatto di materia, ma a questa opinione il nostro poeta contrappone l'autorità della sacra scrittura ("li scrittor de lo Spirito Santo"), di Aristotele e di San Tommaso. L'Alighieri tuttavia ritiene che l'ipotesi di Girolamo sia anche contraria alla ragione, dal momento che gli angeli motori dei cieli non avrebbero potuto rimanere così a lungo privi della loro "perfezione", cioè della possibilità di esercitare il loro compito di intelligenze motrici. Che poi il tempo abbia fine insieme ai Cieli che regolano il suo moto, e quindi insieme all'universo, ce lo dice più di un passo della Commedia. Prendiamo ad esempio Farinata degli Uberti, da noi già incontrato più volte nel nostro percorso. Prima di riprendere il suo viaggio, Dante gli domanda spiegazioni del perchè egli conosca il suo futuro, mentre Cavalcante Cavalcanti non conosce la situazione attuale di suo figlio Guido, e l'antico capo dei ghibellini di Firenze gli risponde che i dannati vedono:

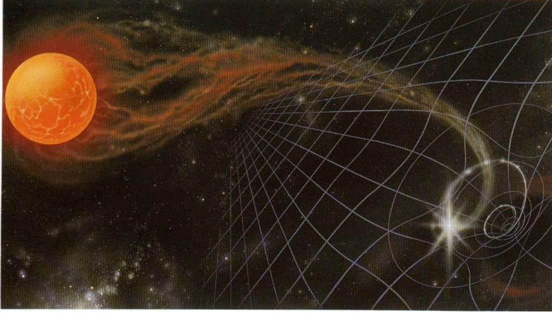
«come quei c'ha mala luce
le cose... che ne son lontano»
(Inf. X, 100-101)

essi fanno cioè come i presbiti, che vedono bene le cose lontane ma, appena si avvicinano ad esse, le vedono sfocate. Questa norma infernale si applica molto bene come contrappasso agli epicurei, che credettero solo nel presente, respingendo la prospettiva nell'eterno. Ad ogni modo, Farinata non manca di sottolineare che questa sorta di prescienza durerà solo fino al giorno del giudizio:

« Però comprender puoi che tutta morta
fia nostra conoscenza da quel punto
che del futuro fia chiusa la porta. »
(Inf. X, 106-108)

Infatti, dopo l'ultimo giudizio non vi sarà più futuro, ma solo l'immutabilità dell'eterno. Il tempo dunque, secondo Dante, ha avuto un inizio, ed avrà una fine.

Cosa ci dice a proposito del tempo la fisica? È possibile arrivare ad un momento in cui non vi è più alcun «dopo»? Se la risposta è sì, davvero questo momento sarebbe la «fine delle fini». La fisica classica sembra escludere che la risposta sia affermativa: il tempo appare come un ritmo universale, un film sulla cui pellicola scorrono gli eventi del cosmo, una rappresentazione teatrale che mai rallenta, mai accelera e mai ha fine, scorrendo sempre nello stesso verso con un battito costante ed eterno. Einstein tuttavia ha mosso le prime obiezioni a questa visione del tempo, arrivando a sostenere, e gli esperimenti e le osservazioni lo hanno confermato, che esso può benissimo rallentare o accelerare a seconda degli osservatori che lo misurano. E non soltanto chi va più veloce sente il tempo dilatarsi, la relatività generale ci ha insegnato che, in presenza di grandi masse, il tempo a sua volta rallenta. Il tempo non solo influenza ciò che la materia fa, ma reagisce a sua volta a ciò che la materia sta facendo. Una stella in rapido collasso



gravitazionale "sente" che il tempo sta scorrendo in maniera diversa che nel resto dell'universo. In un buco nero, addirittura, il tempo ha proprio fine, cessa di scorrere. I buchi neri sono regioni di spazio che esercitano una tale attrazione gravitazionale da divorare tutto ciò che è nel loro campo d'azione. E non solo, sia la materia che l'energia, una volta ingoiate, non possono più sfuggire dal buco nero, nemmeno la luce. Dante sembra aver avuto una visione di questa situazione allorché descrive la prima impressione che ha quando varca la terribile porta dell'Inferno:

« Diverse lingue, orribili favelle,
parole di dolore, accenti d'ira,
voci alte e fioche, e suon di man con elle
facevano un tumulto, il qual s'aggira
sempre in quell' aura sanza tempo tinta,
come la rena quando turbo spira »
(Inf. III, 25-30)

Quell'aura "sanza tempo tinta", cioè assolutamente nera e buia, senza l'alternarsi del giorno e della notte, richiama alla mente proprio i buchi neri, che nulla lasciano trasparire e in prossimità dei quali il tempo stesso si arresta.

Ma dal punto di vista della cosmologia, quali sono i possibili scenari che possono porre fine al tempo? Vediamone alcuni.

1) BIG CRUNCH - L'espansione dell'universo dura finché prosegue la spinta inerziale delle galassie causata dal big bang. Ma ad un certo punto l'attrazione gravitazionale delle galassie è sufficiente per arrestare e addirittura invertire l'espansione. Le galassie tornano a riavvicinarsi ed infine collassano in una nuova singolarità, che decreta la fine del tempo. In Dante un "collasso" del genere è ravvisabile nei versi in cui Beatrice ricorda a Dante che Lucifero, signore dell'Inferno, è a sua volta condannato ad essere sepolto sotto tutta la materia dell'universo, che gli è precipitata contro per incarcerarlo e tenerlo separato per sempre da tutto ciò che è giusto e buono:

« Principio del cader fu il maladetto
superbir di colui che tu vedesti
da tutti i pesi del mondo costretto »
(Par. XXIX, 55-57)

Fino ai primi anni '90 del secolo scorso questo scenario era ritenuto molto probabile, ma nel 1998 accurate misurazioni della velocità di allontanamento reciproco delle galassie dimostravano che l'espansione non sta affatto frenando; anzi, sta accelerando, per motivi ancora ignoti. Per spiegare questa espansione indefinita è stato allora introdotto il concetto di "energia oscura", un'ipotetica forma di energia che si troverebbe in tutto lo spazio, come la famosa "etere" di Aristotele, che con la sua pressione spingerebbe le galassie ad allontanarsi le une dalle altre. Tutto ciò fa tornare in mente i celebri versi con cui inizia la discesa dell'Alighieri all'Inferno, dopo aver superato l'Acheronte:

« Oscura e profonda era e nebulosa
tanto che, per ficcar lo viso a fondo,
io non vi discernea alcuna cosa.
"Or discendiam qua giù nel cieco mondo",
cominciò il poeta tutto smorto... »
(Inf. IV, 10-14)

2) BIG WHIMPER - L'energia oscura porta ad una indefinita espansione dell'universo, con ritmo sempre più accelerato. Questo scenario prevede l'esistenza di una "costante cosmologica" nelle equazioni di Einstein, invariante nello spazio e nel tempo. La maggior parte degli scienziati oggi lo vede come lo scenario più probabile, ma anche più inquietante: l'universo, espandendosi senza sosta come un palloncino che si gonfia indefinitamente, diventa sempre più vuoto e oscuro, poiché materia ed energia si diluiscono sempre di più. Tutta la materia presto o tardi verrà inghiottita da buchi neri sempre più grandi e massicci. Ora, secondo la teoria di ***Hawking*** (1942), i buchi neri emettono una debole radiazione, e per miliardi di miliardi di anni il cosmo verrà rischiarato solo dalla debolissima luminosità dei buchi neri in via di dissolvimento. Il tempo allora non avrà mai una fine, ma perderà gradualmente di significato, perché il cosmo andrà verso uno stato di assoluto equilibrio in cui tutti gli angoli dell'universo, anche i più remoti, si troveranno alla stessa temperatura, e ricavare nuovo lavoro utile da questa radiazione diffusa ed incredibilmente uniforme sarà del tutto impossibile. Da questo momento in poi non cambierà più nulla, e sarà come se il tempo abbia cessato di scorrere. Si realizzerà la cosiddetta "morte termica" dell'universo, la terrificante eventualità prospettata dal grande scrittore americano ***Edgar Allan Poe*** (1809-1849) nel suo allucinante racconto intitolato *La Maschera della Morte Rossa*: *«E allora tutti compresero e riconobbero la presenza della "Morte Rossa". Era giunta come un ladro nella notte, e a uno a uno i gaudenti giacquero nelle sale irrorate di sangue delle loro gozzoviglie, e ciascuno morì nell'atteggiamento disperato in cui era caduto. E la vita della pendola d'ebano si estinse con quella dell'ultimo dei crapuloni. E le fiamme dei tripodi si spensero. E l'Oscurità, la Decomposizione e la Morte rossa regnarono indisturbate su tutto.»*

Siamo vicinissimi alle parole con cui, in mezzo alle tombe infuocate degli Eretici, Virgilio risponde alla domanda di Dante se sia possibile vedere le anime che giacciono nelle arche, giacché i coperchi sono tutti sollevati: dopo il giudizio universale nella Valle di Giosafat presso Gerusalemme (cfr. Gioele 3, 2), tutte le tombe saranno chiuse, e la Seconda Morte, il silenzio e le tenebre regneranno davvero indisturbate su tutto:

« "La gente che per li sepolcri giace
potrebbesi veder? già son levati
tutt'i coperchi, e nessun guardia face."
E quelli a me: "Tutti saran serrati
quando di Iosafàt qui torneranno
coi corpi che là sù hanno lasciati" »
(Inf. X, 7-12)

3) BIG RIP - Si tratta dello scenario più catastrofico. Se l'energia oscura non è costante nell'universo, come prevedono molti modelli, ma aumenta di potenza, l'universo può letteralmente andare in pezzi. Questa forma potentissima di energia oscura non solo farebbe espandere l'universo all'infinito, ma sarebbe capace addirittura di separare tra di loro tutti i suoi componenti. Prima le galassie verrebbero separate le une dalle altre, poi la gravità sarebbe troppo debole per tenerle assieme e le stelle, che a loro volta si

separerebbero, "dissolvendo" le galassie e gli ammassi. Circa tre mesi prima della fine, i pianeti si separerebbero dalle loro stelle, negli ultimi minuti le stelle e i pianeti sarebbero disintegrati, e una frazione di secondo prima della fine anche gli atomi verrebbero distrutti, e i protoni "sciolti" nei quark e nei gluoni che li compongono. Insomma, l'universo sarebbe ridotto ad un "brodo" di particelle elementari isolate le une dalle altre, in cui ogni attività sarebbe impossibile, poiché ogni particella sarebbe impossibilitata a "vedere" le altre: l'universo tornerebbe insomma al caos primordiale, esattamente come riporta Dante quando Virgilio gli descrive il terremoto seguito alla morte di Cristo, da lui paragonato alla dottrina di Empedocle, per il quale l'universo si regge sulla discordia dei quattro elementi (terra, acqua, aria, fuoco), così che, quando cessa la discordia e ritorna la concordia ("pensai che l'universo sentisse amor"), il cosmo ritorna periodicamente nel caos:

« ...da tutte parti l'alta valle feda
tremò sì, ch'i' pensai che l'universo
sentisse amor, per lo qual è chi creda
più volte il mondo in caòsso converso »
(Inf. XII, 40-43)

Naturalmente, la dissoluzione della materia porterebbe necessariamente anche alla fine del tempo. Secondo questo scenario, la fine avverrebbe tra circa 20 miliardi di anni. La "vita" totale dell'universo si aggirerebbe allora sui 33 miliardi di anni.

4) BIG FREEZE - Analogo al precedente. L'energia oscura satura tutto l'universo ed esso raggiunge una densità infinita, espandendosi però di una quantità finita. La continua espansione provoca un universo troppo freddo per sostenere la vita: la materia sopravvissuta ha così poca energia da risultare assolutamente immobile, e il tempo virtualmente si ferma. Questo processo coincide con la "morte termica" dell'universo, e può avvenire attraverso il seguente scenario. Le galassie muoiono allorchè tutta la loro materia viene fagocitata dal buco nero centrale e dagli altri buchi neri causati dalla morte delle stelle supermassicce. I buchi neri evaporano in un tempo per noi lunghissimo, dell'ordine di 10^{64} anni emettendo radiazione, e a poco a poco scompaiono. Su scale temporali ancora più lunghe (10^{1000} anni), questa radiazione si dissipa e tutto lo spazio si trasforma in un "fluido" allo zero assoluto; da quel momento in poi, non accade praticamente più nulla, e la freccia del tempo "si rompe". Torna in mente in proposito questa terzina dantesca:

« Buio d'inferno e di notte privata
d'ogne pianeto, sotto pover cielo,
quant' esser può di nuvol tenebrata... »
(Purg. XVI, 1-3)

Le caratteristiche che il tempo perderà secondo i modelli cosmologici prima discussi, sono in realtà i prerequisiti stessi della nostra esistenza; ed eventuali esseri senzienti che si troveranno a vivere in quelle situazioni estreme, dovranno lottare per vivere in un cosmo sempre più ostile. Dopotutto, come ha detto il filosofo George Musser, *«noi non siamo vittime passive dell'evoluzione del tempo, ne siamo gli autori. Vivendo, convertiamo energia in rifiuti, e contribuiamo così alla degenerazione dell'universo. Il tempo deve morire perchè noi possiamo vivere»*.

8. Considerazioni finali

L'Inferno e il Purgatorio sono luoghi presenti sulla Terra e comunque soggetti alla fisica sublunare. Sono mondi soggetti ad un inevitabile divenire, ad una corruzione, non solo morale, ma anche fisica. In sostanza sono mondi fisici collocati in uno spazio geometrico, quello euclideo, che può essere indagato dall'uomo.

Se la cosmologia medievale è teocentrica (ma Dante non è uomo del medioevo nel senso limitato del termine), allora Dante non poteva collocare Dio in una dimensione geometrica "umana" come quella euclidea, per cui sono necessarie alcune considerazioni e logiche domande:

- ✓ come è possibile che il Paradiso, luogo soprannaturale fatto di una sostanza immateriale e incorruttibile senza tempo, venga collocato in uno spazio fisico, seppur governato da una fisica celeste, e soprattutto geometrico euclideo, descritti con gli stessi strumenti con i quali è stato descritto l'Inferno ed il Purgatorio?
- ✓ Dante e Beatrice attraversano il Primo Mobile da un punto qualunque e vedono Dio, come una stella luminosissima e infinitesima, intorno alla quale ci sono i cerchi, ancora figure euclidee, che corrispondono a uno a uno coi cerchi dell'universo visibile. Invece, se questo passaggio deve rappresentare la porta del cielo per eccellenza, perché Dante non lo rappresenta attraverso una porta imponente, dorata, magnifica, essendo la porta che conduce verso Dio? Invece Dante si premura di dire "*Le parti sue vivissime ed eccelse sì uniforme son …*". In termini fisici il Primo Mobile è omogeneo ed isotropo (cioè sempre uguale a se stesso in ogni punto e in ogni direzione).

Allora la naturale conclusione che possiamo trarre è:

Dante, uomo di grande genialità, non poteva collocare il Paradiso, e quindi Dio, in uno spazio geometrico consueto, per intenderci quello euclideo, che l'uomo usa quotidianamente per collocare le cose del mondo fisico. Se il Paradiso è il luogo oltre il tempo e lo spazio, doveva essere collocato in una dimensione ultraterrena, una dimensione oltre lo spazio euclideo, e questa dimensione per essere descritta aveva bisogno di un'altra geometria, quella che abbiamo cercato di raccontare, la geometria non euclidea nella forma dell'ipersfera, una struttura geometrica che non è possibile rappresentarci attraverso la geometria euclidea, ma soprattutto, non è possibile rappresentarla visivamente nel nostro consueto spazio geometrico "umano". Ma Dante, attraverso il potente potere visionario della poesia, è riuscito non solo a cogliere, almeno intuitivamente, questa nuova dimensione dello spazio, ma l'ha descritta in maniera affascinante e sublime al punto di trascinare noi stessi in un viaggio oltre il tempo e lo spazio, un viaggio in un altro universo, in un'altra dimensione.

Conclusioni

Ed eccoci giunti al termine della nostra investigazione. Insieme a Dante siamo scesi nei più recessi meandri della materia, e insieme a lui ci siamo elevati fino alla più globale visione del cosmo nel suo insieme. Ci siamo intrufolati nei meandri della Logica, districati fra i labirinti della Matematica, inoltrati tra le equazioni della Meccanica, divertiti tra le onde studiate dall'Acustica e dall'Ottica, immersi nel calore della Termodinamica, elevati fino alle vette dell'Astronomia, catapultati nella nuova dimensione dell'Ipersfera, spinti nel cuore della Fisica Atomica, fissato i nostri occhi nel punto inarrivabile del Big Bang, da cui davvero «*depende il cielo e tutta la natura*». E in tutta questa esplorazione abbiamo concluso che la curiosità e la sete di conoscenza dell'uomo Dante sono anche le nostre, e di tutti coloro che verranno dopo di noi, perchè vi saranno sempre problemi da risolvere, paradossi da districare, fenomeni fisici da comprendere, nuovi universi nei quali navigare:

« O voi che siete in picciol etta barca,
desiderosi d'ascoltar, seguiti
dietro al mio legno che cantando varca,
tornate a riveder li vostri liti:
non vi mettete in pelago, ché forse,
perdendo me, rimarreste smarriti.
L'acqua ch'io prendo già mai non si corse;
Minerva spira, e conducemi Apollo,
e nove Muse mi dimostran l'Orse. »
(Par. II, 1-9)

Davvero ardua e sublime era la rotta che Dante si apprestava a navigare, iniziando il suo incredibile viaggio attraverso l'intero universo conosciuto, munito del bagaglio della conoscenza scientifica, filosofica e teologica. Eppure, nonostante tanto difficile cammino, anche noi siamo riusciti a seguire le orme di Dante, e a spremere per intero dai suoi versi tutta l'essenza della scienza enciclopedica che vi ha voluto infondere con uno sforzo che ha davvero dello sbalorditivo da sette secoli a questa parte.

Bibliografia

- ✓ Articolo La Stampa del 29/10/2010
- ✓ Bruno D'Amore – La matematica nella Divina Commedia
- ✓ Carlo Rovelli – La realtà non è come ci appare – Raffaello Cortina Editore
- ✓ Dante e Einstein nella tre-sfera di Carlo Rovelli – Il sole 24 ore del 20/10/2010
- ✓ Francesca Zanichelli – Tesina – Esame di Stato 2006/07
- ✓ Gian Italo Bischi – Matematica per la letteratura, letteratura per la matematica
- ✓ Horia-Roman Patapievici – Gli occhi di Beatrice – Bruno Mondadori
- ✓ http://proooof.blogspot.com/
- ✓ Piergiorgio Odifreddi – Le scienze – ottobre 2011
- ✓ Vincenzo Pappalardo – Storia della fisica e del pensiero scientifico
- ✓ www.brera.unimi.it/sisfa/atti/Manuguerra.pdf
- ✓ www.euresis.org
- ✓ www.filosofico.net
- ✓ www.fmboschetto.it
- ✓ www.wikipedia.org